

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7530958号
(P7530958)

(45)発行日 令和6年8月8日(2024.8.8)

(24)登録日 令和6年7月31日(2024.7.31)

(51)国際特許分類

F I

A 6 1 B 17/14 (2006.01)

A 6 1 B 34/10 (2016.01)

A 6 1 B 17/15 (2006.01)

A 6 1 B 17/14

A 6 1 B 34/10

A 6 1 B 17/15

請求項の数 19 (全132頁)

(21)出願番号	特願2022-502587(P2022-502587)	(73)特許権者	506410062
(86)(22)出願日	令和2年7月15日(2020.7.15)		ストライカー・コーポレイション
(65)公表番号	特表2022-540684(P2022-540684 A)		アメリカ合衆国ミシガン州49002, カラマズー, エアビュー・ブルヴァード 2825
(43)公表日	令和4年9月16日(2022.9.16)	(74)代理人	100099623
(86)国際出願番号	PCT/US2020/042128		弁理士 奥山 尚一
(87)国際公開番号	WO2021/011646	(74)代理人	100125380
(87)国際公開日	令和3年1月21日(2021.1.21)		弁理士 中村 綾子
審査請求日	令和5年7月3日(2023.7.3)	(74)代理人	100142996
(31)優先権主張番号	63/015,184		弁理士 森本 聡二
(32)優先日	令和2年4月24日(2020.4.24)	(74)代理人	100166268
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		弁理士 田中 祐
(31)優先権主張番号	62/874,107	(74)代理人	100169018
(32)優先日	令和1年7月15日(2019.7.15)		弁理士 網屋 美湖
最終頁に続く		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 手持ち式ロボット機器

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

手術を行うためにツールとともに使用するための手持ち式ロボット機器であって、ユーザが保持する手持ち部分と、前記ツールを支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続して、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して3自由度で動かす複数のアクチュエータであって、前記複数のアクチュエータのそれぞれは、有効長が能動的に調整可能である複数のアクチュエータと、前記ツール支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続する受動リンケージを有する拘束アセンブリであって、前記受動リンケージは、前記ツール支持体および前記手持ち部分に結合され、前記手持ち部分に対する前記ツール支持体の動きを3自由度で拘束するように構成された拘束アセンブリとを備え、前記受動リンケージは、前記複数のアクチュエータとは独立して、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記受動リンケージは、有効長が受動的に調整可能である手持ち式ロボット機器。

【請求項2】

前記拘束アセンブリが、前記受動リンケージを前記ツール支持体に結合する受動リンケージジョイントを含む、請求項1に記載のロボット機器。

【請求項3】

前記受動リンケージは、シャフトと、拘束軸に沿って前記シャフトを受け入れるように構成されたスリーブとを含み、

前記受動リンケージは、前記シャフトが前記スリーブに対して前記拘束軸に沿って軸方向に摺動し、前記複数のアクチュエータの1つまたは複数の作動中に前記拘束軸に対して半径方向に前記シャフトの動きを拘束するように構成されている、請求項2に記載のロボット機器。

【請求項4】

前記受動リンケージは、前記拘束軸の周りの前記スリーブに対する前記シャフトの回転を拘束するためのキーを含む、請求項3に記載のロボット機器。

【請求項5】

前記複数のアクチュエータのそれぞれが能動軸に沿って配置され、前記能動軸が前記拘束軸に対して傾斜した構成で配置されるように構成されている、請求項3または4に記載のロボット機器。

【請求項6】

前記複数のアクチュエータを前記ツール支持体に結合する複数の第1の能動ジョイントを含み、

前記複数の第1の能動ジョイントのそれぞれは、能動Uジョイントまたは能動球形ジョイントを含む、請求項3から5のいずれか一項に記載のロボット機器。

【請求項7】

前記第1の能動ジョイントおよび前記受動リンケージジョイントは、共通平面上に配置された平行な回転軸を規定する、請求項6に記載のロボット機器。

【請求項8】

前記ツール支持体は、前記ツールが前記ツール支持体に取り外し可能に結合されたときに前記ツールが前記共通平面に平行なツール平面上に配置されるように構成されたツールカブラを含む、請求項7に記載のロボット機器。

【請求項9】

前記複数のアクチュエータのうちの2つを前記手持ち部分に結合する第2の能動ジョイントと、前記複数のアクチュエータのうちの1つを前記手持ち部分に結合する第3の能動ジョイントとを含む、請求項7または8に記載のロボット機器。

【請求項10】

前記第2の能動ジョイントのそれぞれは、スイベル軸の周りで前記手持ち部分に対してスイベルするように配置されたスイベルヨークを含み、

前記第3の能動ジョイントは、前記手持ち部分に固定された回転ハウジングを含み、

前記第2の能動ジョイントのそれぞれは、前記スイベルヨークの1つに回転可能に結合されたキャリアを含み、

前記第3の能動ジョイントは、前記回転ハウジングに回転可能に結合されたキャリアを含む、請求項9に記載のロボット機器。

【請求項11】

前記複数のアクチュエータは、第1の能動軸に沿って有効長が調整可能な第1のアクチュエータと、第2の能動軸に沿って有効長が調整可能な第2のアクチュエータと、第3の能動軸に沿って有効長が調整可能な第3のアクチュエータと、を含む、請求項1から10のいずれか一項に記載のロボット機器。

【請求項12】

前記受動リンケージは、拘束軸に沿って有効長が調整可能であり、前記拘束軸および前記第3の能動軸は、前記複数のアクチュエータの作動全体にわたって中心面に沿った同一平面上にあり、

前記中心面は前記受動リンケージの長さ方向に沿って延在している、請求項11に記載のロボット機器。

【請求項13】

前記ロボット機器の重量が6ポンド未満である、請求項1から12のいずれか一項に記

10

20

30

40

50

載のロボット機器。

【請求項 14】

手術を行う際に鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボット機器であって、
ユーザが保持する手持ち部分と、
前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体と、
前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続して、前記手持ち部分に対して
前記刃支持体を 3 自由度で動かす複数のアクチュエータと、
前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続して、前記手持ち部分に対する
前記刃支持体の動きを 3 自由度で拘束する受動リンクージを有する拘束アセンブリと、
前記複数のアクチュエータに結合され、平面に沿って前記鋸刃を維持するために前記複
数のアクチュエータの調整を制御するコントローラと
を備え、

前記受動リンクージは、前記複数のアクチュエータとは独立して、前記刃支持体と前記
手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記受動リンクージは、有効長が受動的に調整可
能である、手持ち式ロボット機器。

【請求項 15】

前記複数のアクチュエータは、第 1 の能動軸に沿って有効長が調整可能な第 1 のアク
チュエータと、第 2 の能動軸に沿って有効長が調整可能な第 2 のアクチュエータと、第 3 の
能動軸に沿って有効長が調整可能な第 3 のアクチュエータと、拘束軸に沿って有効長が調
整可能な前記受動リンクージとを含む、請求項 14 に記載のロボット機器。

【請求項 16】

手術を行うためにツールとともに使用するための手持ち式ロボット機器であって、
ユーザが保持する手持ち部分と、
前記ツールを支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合されたツール支持体と、
前記ツール支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続して、前記ツール支持体を前
記手持ち部分に対して少なくとも 3 自由度で動かす複数のアクチュエータと、
前記ツール支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続するリンクージを有する拘束
アセンブリであって、前記リンクージは、前記ツール支持体および前記手持ち部分に結合
され、前記手持ち部分に対する前記ツール支持体の動きを少なくとも 2 自由度で拘束する
ように構成された拘束アセンブリと

を備え、

前記リンクージは、前記複数のアクチュエータとは独立して、前記ツール支持体と前記
手持ち部分とを動作可能に相互接続する、手持ち式ロボット機器。

【請求項 17】

手術を行うためにツールとともに使用するための手持ち式ロボット機器であって、
ユーザが保持する手持ち部分と、
前記ツールを支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合されたツール支持体と、
前記ツール支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続して、前記ツール支持体を前
記手持ち部分に対して 3 自由度で動かす複数のアクチュエータであって、前記複数のアク
チュエータのそれぞれは、有効長が能動的に調整可能である複数のアクチュエータと、
前記ツール支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続する受動リンクージを有する
拘束アセンブリであって、前記受動リンクージは、前記ツール支持体および前記手持ち部
分に結合され、前記手持ち部分に対する前記ツール支持体の動きを 3 自由度で拘束するよ
うに構成された拘束アセンブリと

を備え、

前記複数のアクチュエータのそれぞれが能動軸に沿って配置され、前記能動軸が、前記
拘束アセンブリの拘束軸に対して傾斜した構成で配置されるように構成されている、手持
ち式ロボット機器。

【請求項 18】

前記拘束アセンブリが、前記受動リンクージを前記ツール支持体に結合する受動リンク

ージジョイントを含み、

前記受動リンケージは、シャフトと、前記拘束軸に沿って前記シャフトを受け入れるように構成されたスリーブとを含み、

前記受動リンケージは、前記シャフトが前記スリーブに対して前記拘束軸に沿って軸方向に摺動し、前記複数のアクチュエータの1つまたは複数の作動中に前記拘束軸に対して半径方向に前記シャフトの動きを拘束するように構成されている、請求項17に記載の手持ち式ロボット機器。

【請求項19】

手術を行うためにツールとともに使用するための手持ち式ロボット機器であって、

ユーザが保持する手持ち部分と、

前記ツールを支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合されたツール支持体と、

前記ツール支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続して、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して3自由度で動かす複数のアクチュエータであって、前記複数のアクチュエータのそれぞれは、有効長が能動的に調整可能である複数のアクチュエータと、

前記ツール支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続する受動リンケージを有する拘束アセンブリであって、前記受動リンケージは、前記ツール支持体および前記手持ち部分に結合され、前記手持ち部分に対する前記ツール支持体の動きを3自由度で拘束するように構成された拘束アセンブリと、

前記複数のアクチュエータを前記ツール支持体に結合する複数の第1の能動ジョイントと、

前記複数のアクチュエータのうちの2つを前記手持ち部分に結合する第2の能動ジョイントと、前記複数のアクチュエータのうちの1つを前記手持ち部分に結合する第3の能動ジョイントと

を備え、

前記第2の能動ジョイントのそれぞれは、スイベル軸の周りで前記手持ち部分に対してスイベルするように配置されたスイベルヨークを含み、

前記第3の能動ジョイントは、前記手持ち部分に固定された旋回ハウジングを含み、

前記第2の能動ジョイントのそれぞれは、前記スイベルヨークの1つに旋回可能に結合されたキャリアを含み、

前記第3の能動ジョイントは、前記旋回ハウジングに旋回可能に結合されたキャリアを含む、手持ち式ロボット機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、概して、外科用手持ち式ロボット機器システムおよび使用方法に関する。

【背景技術】

【0002】

物理的切断ガイドは、患者から組織を切除するときに外科用ツールを拘束するために使用される。場合によっては、物理的切断ガイドが、交換用インプラントを受け入れるために関節を準備する目的で、そのような外科用ツールを拘束する。物理的切断ガイドを患者に位置決めして固定するために必要な時間は、外科的処置を実行するために必要な全体の時間のかなりの部分を占める可能性がある。

【0003】

ナビゲーションシステム（追跡システムとも呼ばれる）を使用して、ジグを適切に整列して固定するだけでなく、患者から組織を切除するために使用される外科用ツールの位置および／または方向を追跡することができる。追跡システムは、通常、ツールおよび切除される組織に関連する1つまたは複数のトラッカーを使用する。次に、ディスプレイをユーザが見て、除去する組織の所望の切断経路に対するツールの現在の位置を決定することができる。ディスプレイは、ツールの進行を視認するために、ユーザが組織および手術部位から目をそらす必要のある位置に配置される可能性がある。これにより、ユーザは手術

10

20

30

40

50

部位に集中できなくなる。また、ユーザがツールを所望の方法で配置するのが難しい場合がある。

【0004】

ロボット支援手術は、通常、6自由度(DOF)で移動することができるロボットアームを備えた大型ロボットに依存している。これらの大型ロボットは、手術室での動作や操作が面倒な場合がある。

【0005】

これらの課題の1つまたは複数に対処するためのシステムおよび方法が必要である。

【発明の概要】

【0006】

ロボット機器は、ツールと共に使用するために提供される。ロボット機器は、ユーザが保持するための手持ち部分を備えている。ツール支持体は、ツールを支持するために手持ち部分に移動可能に結合される。複数のアクチュエータが、ツール支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続して、ツール支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かす。複数のアクチュエータのそれぞれは、能動的に調整可能である。拘束アセンブリは、ツール支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続する受動リンクを有している。受動リンクは、手持ち部分に対するツール支持体の動きを3自由度で拘束するように構成された方法で、ツール支持体および手持ち部分に結合される。

【0007】

鋸刃と共に使用するために、別のロボット機器が提供される。ロボット機器は、ユーザが保持するための手持ち部分を備えている。刃支持体は、鋸刃を支持するために手持ち部分に移動可能に結合されている。複数のアクチュエータが、刃支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続して、手持ち部分に対して3自由度で刃支持体を動かす。拘束アセンブリは、刃支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続して、手持ち部分に対する刃支持体の動きを3自由度で拘束する。コントローラが複数のアクチュエータに結合されて、複数のアクチュエータの調整を制御して、仮想鋸切断ガイドを規定する。

【0008】

別のシステムが、ツールと共に使用するために提供される。このシステムは、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツールを支持するために手持ち部分に結合されたツール支持体とを有する機器を備える。ガイダンスアレイは、機器に結合され、手持ち部分のピッチ方向、ロール方向、および並進(translation)の所望の変更をユーザに視覚的に示して、ツールの所望の姿勢を達成するように制御可能である。コントローラはガイダンスアレイに結合され、ユーザが機器の手持ち部分を動かしている間、ピッチ方向、ロール方向、および並進の所望の変更を視覚的に示すようにガイダンスアレイを自動的に調整するように構成される。

【0009】

別のシステムが、ツールと共に使用するために提供される。このシステムは、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツールを支持するために手持ち部分に結合されたツール支持体とを有する機器を備える。ガイダンスアレイは、機器に結合され、ツールのピッチ方向、ロール方向、および並進における所望の変更をユーザに視覚的に示して、所望の姿勢を達成するように制御可能である。ガイダンスアレイは、ツールの平面を表すように配置されている。コントローラはガイダンスアレイに結合され、ガイダンスアレイを自動的に調整して、ユーザがツールを動かしている間、ピッチ方向、ロール方向、および並進の所望の変更を視覚的に示すように構成される。

【0010】

別のロボットシステムが、ツールと共に使用するために提供される。ロボットシステムは、ユーザが保持および支持するための手持ち部分を備えている。ツール支持体は、ツールを支持するために手持ち部分に移動可能に結合される。複数のアクチュエータが、ツール支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続して、ツール支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かして、ツールを所望の軌道または平面上に配置する。複数のアクチュエー

10

20

30

40

50

タのそれぞれは、最大位置と最小位置の間で調整可能であり、最大位置と最小位置の間のホーム位置を有している。視覚的インジケータは、複数のアクチュエータに関連付けられて、手持ち部分の所望の動きを示す。コントローラが視覚的インジケータに結合されて、視覚的インジケータの動作を制御して、手持ち部分の所望の動きを示す。

【0011】

別のロボットシステムが提供される。ロボットシステムは、ユーザが保持する手持ち部分を備えている。ツール支持体は、ツールを支持するために手持ち部分に移動可能に結合される。複数のアクチュエータが、ツール支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続して、ツール支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かして、ツールを所望の軌道または平面上に配置する。複数のアクチュエータのそれぞれは、最大位置と最小位置の間で調整可能であり、最大位置と最小位置の間のホーム位置を有している。視覚的インジケータは、複数のアクチュエータに関連付けられて、手持ち部分の所望の動きを示す。コントローラは、複数のアクチュエータおよび視覚的インジケータに結合されて、複数のモードでの動作を制御し、コントローラが複数のアクチュエータのそれぞれをホーム位置に自動的に調整するホームモード、複数のアクチュエータがホーム位置にある間に、コントローラがツールの所望の動きを示してツールを所望の軌道または平面に配置するアプローチモード、ツールが一般に所望の軌道または平面上に配置され、コントローラが手持ち部分の所望の動きを示して、ツールを所望の軌道または平面上に維持するオンターゲットモードを含む。

【0012】

ツールを備えたロボット機器を使用するための方法が提供され、ロボット機器は、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツールを支持するために手持ち部分に移動可能に結合されたツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続する複数のアクチュエータと、ツール支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続する受動リンケージを有する拘束アセンブリを備える。この方法は、複数のアクチュエータの1つまたは複数の有効長を能動的に調整し、手持ち部分に対してツール支持体の動きを3自由度に拘束することによって、手持ち部分に対して3自由度でツール支持体を動かすことを含む。

【0013】

ユーザによって保持される手持ち部分と、ツールを支持するために手持ち部分に結合されたツール支持体と、機器に結合され、ツールの平面を表すように配置されたガイダンスアレイとを有する機器の動きをガイドするための方法が提供される。この方法は、ツールのピッチ方向、ロール方向、および並進の所望の変更をユーザに視覚的に示して、所望の姿勢を達成することを含む。

【0014】

ロボット機器の動きをガイドするための別の方法が提供され、ロボット機器は、ユーザによって保持および支持される手持ち部分と、ツールを支持するために手持ち部分に移動可能に結合されたツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、ツール支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かして、ツールを所望の軌道または平面上に配置するための複数のアクチュエータと、複数のアクチュエータに関連する視覚的インジケータとを有する。この方法は、複数のアクチュエータのそれぞれを最大位置と最小位置との間のホーム位置に調整し、視覚的インジケータで手持ち部分の所望の動きを示すことを含む。

【0015】

ロボット機器の動きをガイドするための別の方法が提供され、ロボット機器は、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツールを支持するために手持ち部分に移動可能に結合されたツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、ツール支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かして、ツールを所望の軌道または平面上に配置する複数のアクチュエータと、複数のアクチュエータに関連する視覚的インジケータとを有する。この方法は、複数のモードでロボット機器の動作を制御することを含む。複数のモードは、コントローラが複数のアクチュエータのそれぞれを最大位置と最小位置の間の

ホーム位置に自動的に調整するホームモードと、複数のアクチュエータがホーム位置にある間に、コントローラがツールの所望の動きを示して、ツールを所望の軌道または平面上に配置するアプローチモードと、ツールが概して所望の軌道または平面上に配置され、コントローラが手持ち部分の所望の動きを示して、ツールを所望の軌道または平面上に維持するオンターゲットモードとを含む。

【0016】

一例では、外科用ロボット機器が提供される。外科用ロボット機器は、ユーザが保持する手持ち式本体と、手持ち式本体に移動可能に結合されたツール支持体と、ツール支持体によって支持されたツールカブラと、手持ち式本体に対して複数の自由度でツール支持体を動かすための複数のアクチュエータとを含む。複数のアクチュエータは、ツール支持体と手持ち式本体を動作可能に相互接続する一対の線形アクチュエータを含む。一対の線形アクチュエータのそれぞれは、手持ち式本体に接続された第1の部分とツール支持体に接続された第2の部分とを有し、手持ち式本体に対するツール支持体の高さとピッチを制御するように配置される。複数のアクチュエータは、ツール支持体および手持ち式本体に対するツールカブラのロール運動を制御するように配置された回転アクチュエータをさらに含む。

【0017】

さらなる例では、外科用ツールとともに使用するための外科用ロボット機器が提供される。外科用機器は、ユーザが保持する手持ち式本体と、ツールを支持するために手持ち式本体に移動可能に結合されたツール支持体と、ツール支持体を手持ち式本体に対して複数の自由度で動かすための複数のアクチュエータとを含む。複数のアクチュエータには、手持ち式本体に接続された第1の部分と、ツール支持体に接続された第2の部分とを有する上昇アクチュエータと、一対の2次アクチュエータとが含まれている。一対の2次アクチュエータのそれぞれは、上昇アクチュエータに動作可能に接続されたアクチュエータ部分と、ツール支持体に動作可能に接続された支持部分とを含み、一対の2次アクチュエータのそれぞれが、上昇アクチュエータとツール支持体との間で効果的に動作して、ツール支持体を上昇アクチュエータに対して動かすように構成される。上昇アクチュエータは、ツール支持体と2次アクチュエータの両方を、手持ち式本体に対して1自由度で動かすように構成されている。

【0018】

別の例では、ツールで使用するための外科用ロボット機器が提供される。外科用機器は、遠位端と近位端を有し、ユーザによって保持されるピストルグリップと、ツールを支持するためにピストルグリップに移動可能に結合されたツール支持体と、ツール支持体とピストルグリップを動作可能に相互接続して、ピストルグリップに対して複数の自由度でツール支持体を動かす複数のアクチュエータとを含む。複数のアクチュエータは、シャフトに接続されたピストルグリップに配置されたモータと、ツール支持体に接続され、モータが起動したときにシャフトに沿って並進するキャリッジとを含む上昇アクチュエータを含む。複数のアクチュエータは一対の2次アクチュエータをさらに含み、各2次アクチュエータは、上昇アクチュエータの遠位に配置されたキャリッジおよびツール支持体と結合されている。

【0019】

1つの一般的な態様は、手術を行う際に鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムを含む。手持ち式ロボットシステムはまた、機器を含み、機器は、ユーザによって保持される手持ち部分と、鋸刃を支持するために手持ち部分に結合された刃支持体と、刃支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続して、手持ち部分に対して3自由度で刃支持体を動かすアクチュエータアセンブリとを含み、アクチュエータアセンブリは、複数のアクチュエータを含む。このシステムはまた、複数の視覚的インジケータを含み得るガイダンスアレイであって、機器に結合され、手持ち部分のピッチ方向、ロール方向、および並進における1つまたは複数の所望の変更を視覚的にユーザに示すように制御可能で、手持ち部分の所望の姿勢を達成するガイダンスアレイと、鋸刃を所望の平面に沿って維持する

ために複数のアクチュエータの調整を制御するように構成されたコントローラと、を含む。このシステムはまた、複数のアクチュエータのそれぞれのアクチュエータのアクチュエータ情報に基づいてガイダンスアレイを制御し、ユーザが機器を動かしている間、ピッチ方向、ロール方向、および並進位置における1つまたは複数の所望の変更を視覚的に示すようにさらに構成されたコントローラを含む。

【0020】

1つの一般的な態様は、鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムを含む。手持ち式ロボットシステムはまた、機器を含み、機器は、ユーザによって保持および支持される手持ち部分と、鋸刃を支持するために手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体と、刃支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、刃支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かして、鋸刃を所望の平面上に配置するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含む、アクチュエータアセンブリと、手持ち部分の所望の動きを示す視覚的インジケータと、鋸刃を所望の平面に沿って維持するために複数のアクチュエータの調整を制御するように構成されたコントローラと、を含む。コントローラは、視覚的インジケータを制御し、ユーザが複数のアクチュエータのそれぞれのアクチュエータに関するアクチュエータ情報に基づいて、機器を動かしている間、ピッチ方向、ロール方向、および並進位置の変更を視覚的に示すように構成されている。

【0021】

1つの一般的な態様は、動きを制御する方法を含む。動きを制御する方法は、ローカライザを備えたトラッカーで鋸刃の姿勢を決定することと、鋸刃の所望の姿勢を決定することと、複数のアクチュエータのそれぞれの位置を決定することと、複数のアクチュエータのそれぞれの位置に基づいて、手持ち部分の姿勢を決定することと、ローカライザによって決定された鋸刃の姿勢、鋸刃の所望の姿勢、および手持ち部分の姿勢に基づいて、鋸刃の命令姿勢を決定することと、命令姿勢に基づいて、および複数のアクチュエータのそれぞれの位置に基づいて、複数のアクチュエータのそれぞれの命令位置を決定することと、命令位置に基づいて複数のアクチュエータのそれぞれを制御することと、を含み得る。1つの一般的な態様は、命令位置に基づいて複数のアクチュエータのそれぞれを制御することを含む。動きを制御するこの方法は、ローカライザを使用して第1のトラッカーで鋸刃の姿勢を決定することと、ローカライザを使用して第2のトラッカーで手持ち部分の姿勢を決定することと、鋸刃の姿勢および手持ち部分の姿勢に基づいて、複数のアクチュエータのうちの1つまたは複数の制御して所望の平面に向かって移動することと、を含み得る。

【0022】

1つの一般的な態様は、鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムの動きを制御する方法を含む。動きを制御する方法はまた、既知の座標系でローカライザを使用して鋸刃の位置を決定することと、既知の座標系で骨に関連する基準位置の位置を決定することと、を含む。動きは、基準位置の位置と鋸刃の位置に基づいて距離パラメータを決定することと、鋸刃と手持ち部分との間の動作パラメータの第1の値で鋸刃を所望の平面に向かって動かすように複数のアクチュエータを制御することと、鋸刃と手持ち部分との間の動作パラメータの第2の値で鋸刃を所望の平面に向かって動かすように複数のアクチュエータを制御することと、を含み、第1の値は第2の値とは異なり、コントローラは距離パラメータに基づいて、動作を第1の値から第2の値に変更するように動作可能である。

【0023】

1つの一般的な態様は、鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムを含む。手持ち式ロボットシステムはまた、ユーザによって保持される手持ち部分と、鋸刃を支持するために手持ち部分に結合された刃支持体と、刃支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、刃支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かすアクチュエータアセンブリと、を含み得る機器を含む。このシステムはまた、複数の視覚的インジケータを含むガイダンスアレイを含み、ガイダンスアレイは、機器に結合され、手持ち部分の所望の姿勢を達成するために、手持ち部分のピッチ方向、ロール方向、および並進における1つまたは複数の所望の変更をユーザに視覚的に示すように制御可能である。このシステムは、複数の

アクチュエータに結合されたコントローラを含み、鋸刃の姿勢および手持ち部分の姿勢に基づいて鋸刃を所望の平面に沿って維持するための複数のアクチュエータの調整を制御し、コントローラはさらにガイダンスアレイに結合され、ガイダンスアレイを制御して、ユーザが刃の所望の平面に基づいて機器を動かしている間、ピッチ方向、ロール方向、および並進位置における１つまたは複数の所望の変更を視覚的に示すように構成される。

【００２４】

１つの一般的な態様は、鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムを含む。手持ち式ロボットシステムはまた、ユーザによって保持および支持される手持ち部分と、鋸刃を支持するために手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体と、刃支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、刃支持体を手持ち部分に対して３自由度で動かして、鋸刃を所望の平面上に配置するアクチュエータアセンブリとを含み、アクチュエータアセンブリは、複数のアクチュエータを含む。このシステムはまた、手持ち部分の所望の動きを示すための視覚的インジケータと、複数のアクチュエータに結合され、鋸刃の姿勢および手持ち部分の姿勢に基づいて、鋸刃を所望の平面に沿って維持するための複数のアクチュエータの調整を制御するコントローラとを含む。コントローラは、視覚的インジケータに結合され、視覚的インジケータを制御して、手持ち部分のピッチ方向、ロール方向、および並進位置の変更を視覚的に示して、刃の所望の平面に基づいて所望の手持ち部分の姿勢を達成するように構成され得る。

【００２５】

１つの一般的な態様は、鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムを含む。手持ち式ロボットシステムはまた、機器を含み、機器は、ユーザによって保持される手持ち部分と、手持ち部分に結合された刃支持体であって、鋸刃の動きを駆動するための鋸駆動モータを含み得る刃支持体と、刃支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、刃支持体を手持ち部分に対して３自由度で動かして、鋸刃を所望の平面上に配置するアクチュエータアセンブリとを含み、アクチュエータアセンブリは、複数のアクチュエータを含む。このシステムはまた、既知の座標系で鋸刃の位置および骨に関連する基準位置を決定するように構成されたローカライザと、複数のアクチュエータに結合されたコントローラと、を含み、コントローラは、複数のアクチュエータを制御して、鋸刃と手持ち部分との間の動作パラメータの第１の値で鋸刃を所望の平面に向かって動かすように動作可能あり、およびコントローラはさらに、複数のアクチュエータを制御して、鋸刃と手持ち部分との間の動作パラメータの第２の値で鋸刃を所望の平面に向かって動かすように動作可能であり、第１の値は第２の値とは異なり、コントローラは、鋸刃の位置と骨に関連する基準位置の位置に基づいて、動作を第１の値から第２の値に変更するように動作可能である。

【００２６】

１つの一般的な態様は、鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムを含む。手持ち式ロボットシステムは、機器を含み、機器は、ユーザによって保持される手持ち部分と、手持ち部分に結合された刃支持体であって、鋸刃の動きを駆動するための鋸駆動モータを含み得る刃支持体と、刃支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、刃支持体を手持ち部分に対して３自由度で動かして鋸刃を所望の平面に配置するアクチュエータアセンブリとを含み、アクチュエータアセンブリは、複数のアクチュエータを含む。このシステムはまた、既知の座標系で鋸刃の位置および骨に関連する基準位置を決定するように構成されたローカライザを含む。このシステムは、複数のアクチュエータに結合されたコントローラを含み得、これは、鋸刃を所望の平面に向かって動かすように複数のアクチュエータを制御するように動作可能であり、コントローラはさらに、鋸駆動モータのモータパラメータを第１の値および第２の値で制御するように動作可能であり、第１の値は第２の値とは異なり、コントローラは、鋸刃の位置および骨に関連する基準位置の位置に基づいて、動作を第１の値から第２の値に変更するように動作可能である。

【００２７】

１つの一般的な態様は、鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムを含む。手持ち式ロボットシステムは、機器を含み、機器は、ユーザによって保持される手持ち部

10

20

30

40

50

分と、手持ち部分に結合された刃支持体であって、鋸刃の動きを駆動するための鋸駆動モータを含み得る刃支持体と、刃支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、刃支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かして、鋸刃を所望の平面上に配置するアクチュエータアセンブリとを含み、アクチュエータアセンブリは、複数のアクチュエータを含み得る。このシステムはまた、距離パラメータを決定するための既知の座標系で鋸刃の位置および骨に関連する基準位置を決定するように構成されたローカライザを含む。このシステムは、複数のアクチュエータに結合されたコントローラを含み得、コントローラは、複数のアクチュエータを制御して鋸刃を所望の平面に向かって動かすように動作可能であり、コントローラはさらに、鋸駆動モータのモータパラメータを第1の値および第2の値で制御するように動作可能であり、第1の値は第2の値とは異なり、コントローラは、距離パラメータに基づいて、動作を第1の値から第2の値に変更するように動作可能である。

10

【0028】

1つの一般的な態様は、鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムを含む。手持ち式ロボットシステムは、機器を含み、機器は、ユーザによって保持される手持ち部分と、手持ち部分に結合された刃支持体であって、鋸刃の動きを駆動するための鋸駆動モータを含み得る刃支持体と、刃支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、刃支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かして、鋸刃を所望の平面上に配置するアクチュエータアセンブリとを含み、アクチュエータアセンブリは、複数のアクチュエータを含み得る。このシステムはまた、複数のアクチュエータに結合されたコントローラを含み、コントローラは、鋸刃の姿勢、鋸刃の所望の姿勢、複数のアクチュエータのそれぞれの位置、複数のアクチュエータのそれぞれの現在の位置に基づく手持ち部分の姿勢、鋸刃の姿勢、鋸刃の所望の姿勢、および手持ち部分の姿勢に基づく鋸刃の命令姿勢、命令姿勢および位置に基づく複数のアクチュエータのそれぞれの命令位置を決定するように動作可能である。このシステムはまた、命令位置に基づいて複数のアクチュエータのそれぞれを制御するように動作可能なコントローラを含む。

20

【0029】

1つの一般的な態様は、鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムを含む。手持ち式ロボットシステムは、機器を含み、機器は、ユーザによって保持される手持ち部分と、鋸刃を支持するために手持ち部分に結合された刃支持体と、刃支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続して、手持ち部分に対して3自由度で刃支持体を動かすアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むことができる、アクチュエータアセンブリとを含む。このシステムはまた、複数の視覚的インジケータを含むガイダンスアレイを含み、ガイダンスアレイは、機器に結合され、手持ち部分の所望の姿勢を達成するために、鋸刃のピッチ方向、ロール方向、および並進における1つまたは複数の所望の変更をユーザに視覚的に示すように制御可能である。システムは、ガイダンスアレイに結合されたコントローラを含み、コントローラは、ユーザが複数のアクチュエータのうちの1つまたは複数に関するアクチュエータ情報に基づいて機器を動かす間にピッチ方向、ロール方向、および並進位置における鋸刃の1つまたは複数の所望の変更を視覚的に示すようにガイダンスアレイを制御するように構成されている。

30

【0030】

1つの一般的な態様は、鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムを含む。手持ち式ロボットシステムは、ユーザによって保持および支持される手持ち部分と、刃を支持するために手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体と、刃支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、刃支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かして、鋸刃を所望の平面上に配置するアクチュエータアセンブリとを有する機器を含み、アクチュエータアセンブリは複数のアクチュエータを含み得る。このシステムには、鋸刃の所望の動きを示す視覚的インジケータも含まれている。このシステムは、視覚的インジケータに結合され、ユーザが複数のアクチュエータのアクチュエータ情報に基づいて機器を動かす間に、視覚的インジケータを制御して、鋸刃のピッチ方向ロール方向、および並進位置の変更を視覚的に示すように構成されたコントローラを含む。

40

50

【0031】

1つの一般的な態様は、鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムを含む。手持ち式ロボットシステムはまた、ユーザによって保持される手持ち部分を有する機器を含む。このシステムはまた、ツールを支持するために手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体を含む。このシステムはまた、刃支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続して、刃支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かして、鋸刃を所望の平面上に配置するアクチュエータアセンブリを含む。アクチュエータアセンブリは、複数のアクチュエータを含み得る。複数のアクチュエータのそれぞれは、最大位置と最小位置の間で調整可能であり、最大位置と最小位置の間のホーム位置を有する。このシステムはまた、手持ち部分の所望の動きを示すための視覚的インジケータを含む。このシステムはまた、複数のモードでの動作を制御するために複数のアクチュエータおよび視覚的インジケータに結合されたコントローラを含み、複数のモードは、コントローラが複数のアクチュエータのそれぞれをそれらのホーム位置に自動的に調整する第1のモード、および鋸刃は一般に所望の平面上に配置され、コントローラが鋸刃を所望の平面上に維持するための手持ち部分の所望の動きを示す第2のモードを含む。

10

【0032】

1つの一般的な態様は、鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムを含む。手持ち式ロボットシステムは、機器を含み、機器は、ユーザが保持および支持する手持ち部分と、刃を支持するために手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体と、刃支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、刃支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かして、鋸刃を所望の平面上に配置するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含み得るアクチュエータアセンブリと、を含む。このシステムはまた、既知の座標系で鋸刃の位置および骨に関連する基準位置を決定するように構成されたローカライザおよび視覚的インジケータを含む。システムには、視覚的インジケータに結合されたコントローラが含まれ、コントローラは、第1のモードで視覚的インジケータを制御して、ユーザが複数のアクチュエータのアクチュエータ情報に基づいて機器を動かす間に、鋸刃のピッチ方向、ロール方向、および並進位置の変更を視覚的に示すように構成され、コントローラはさらに、第2のモードで視覚的インジケータを制御して、ユーザが複数のアクチュエータのアクチュエータ情報に基づいて機器を動かす間に、手持ち部分のピッチ方向、ロール方向、および並進位置の変更を視覚的に示すように構成され、コントローラは、鋸刃の位置および基準位置の位置に基づいて、または入力装置から受信した入力信号に基づいて、第1のモードと第2のモードとの間で切り替わるように構成されている。

20

30

【0033】

1つの一般的な態様は、鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムを含む。手持ち式ロボットシステムは、機器を含み、機器は、ユーザによって保持される手持ち部分と、鋸刃を支持するために手持ち部分に結合された刃支持体と、刃支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、刃支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かすアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含み得るアクチュエータアセンブリと、を有する。システムは、既知の座標系で鋸刃の位置および骨に関連する基準位置を決定するように構成されたローカライザを含み得る。このシステムはまた、複数の視覚的インジケータを含み得るガイダンスアレイおよびガイダンスアレイに結合されたコントローラを含む。コントローラは、第1のモードでガイダンスアレイを制御して、ユーザが複数のアクチュエータのうちの1つまたは複数に関するアクチュエータ情報に基づいて機器を動かす間に、ピッチ方向、ロール方向、および並進位置における鋸刃の1つまたは複数の所望の変更を視覚的に示すように構成され、コントローラはさらに、第2のモードでガイダンスアレイを制御して、ユーザが複数のアクチュエータのアクチュエータ情報に基づいて機器を動かす間に、手持ち部分のピッチ方向、ロール方向、および並進位置の1つまたは複数の変更を視覚的に示すように構成され、コントローラは、鋸刃の位置および基準位置の位置に基づいて、または入力装置から受信した入力信号に基づいて、第1のモードと第2のモードとの間で切り替わるように構成されている。

40

50

【0034】

本開示は、添付の図面に関連して検討した場合、以下の詳細な説明を参照することによってよりよく理解されるようになるので、本開示の利点は容易に理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】ロボットシステムの斜視図である。

【図2】全人工膝関節を受け入れるために大腿骨上の5つの平面を切断するために使用されているロボット機器の斜視図である。

【図3A】ロボット機器の様々なピッチ方向の図解である。

【図3B】ロボット機器の様々なピッチ方向の図解である。

10

【図3C】ロボット機器の様々なピッチ方向の図解である。

【図4A】ロボット機器の様々なロール方向の図解である。

【図4B】ロボット機器の様々なロール方向の図解である。

【図4C】ロボット機器の様々なロール方向の図解である。

【図5A】ロボット機器の様々なz軸並進位置の図解である。

【図5B】ロボット機器の様々なz軸並進位置の図解である。

【図5C】ロボット機器の様々なz軸並進位置の図解である。

【図6】手持ち部分に対するツール支持体の1つの特定の姿勢を示すロボット機器の正面斜視図である。

【図7】制御システムのブロック図であり、様々なソフトウェアモジュールも示している。

20

【図8】ロボット機器の背面斜視図である。

【図9】ロボット機器の側面立面図である。

【図10】ロボット機器の背面立面図である。

【図11】ロボット機器の正面立面図である。

【図12】ロボット機器のツール支持体の上面および背面斜視図である。

【図13】ロボット機器のツール支持体の底面および背面斜視図である。

【図14】ツール支持体の本体および複数のアクチュエータへの関連するジョイント接続を示す分解図である。

【図15】手持ち部分のベースおよび複数のアクチュエータへの関連するジョイント接続を示す分解図である。

30

【図16】図10の線16-16に概して沿った部分断面図である。

【図17】手持ち部分のベースの上面斜視図である。

【図18】手持ち部分のベースの底面斜視図である。

【図19】受動リンケージのシャフトの斜視図である。

【図20】代替のアクチュエータおよびリンケージ構成の斜視図である。

【図21】代替のアクチュエータおよびリンケージ構成の断面図である。

【図22】ロボット機器が使用される様々な領域を示している。

【図23A】ガイダンスアレイの使用を示している。

【図23B】ガイダンスアレイの使用を示している。

【図23C】ガイダンスアレイの使用を示している。

40

【図23D】ガイダンスアレイの使用を示している。

【図23E】ガイダンスアレイの視覚的インジケータの状態の例示的なスキームを示している。

【図24A】ガイダンスアレイの使用を示している。

【図24B】ガイダンスアレイの使用を示している。

【図24C】ガイダンスアレイの使用を示している。

【図25A】ツールを所望の平面上に維持するためのガイダンスアレイの使用および複数のアクチュエータの調整を示している。

【図25B】ツールを所望の平面上に維持するためのガイダンスアレイの使用および複数のアクチュエータの調整を示している。

50

【図 2 5 C】ツールを所望の平面上に維持するためのガイダンスアレイの使用および複数のアクチュエータの調整を示している。

【図 2 6 A】所望の平面からのツールの移動、および所望の平面上にツールを配置するためのガイダンスアレイの使用を示している。

【図 2 6 B】所望の平面からのツールの移動、および所望の平面上にツールを配置するためのガイダンスアレイの使用を示している。

【図 2 7】所望の平面に沿って骨を切除するためのロボット機器の使用を示している。

【図 2 8】ファントムで示されるグリップを備えた別のロボット機器の斜視図である。

【図 2 9】図 2 8 のロボット機器の別の斜視図である。

【図 3 0】図 2 8 のロボット機器で使用されるフレックス回路の斜視図である。

10

【図 3 1】図 2 8 のロボット機器で使用されるフレックス回路の斜視図である。

【図 3 2】図 3 0 および 3 1 に示されるフレックス回路の部分を固定するために使用されるフレックス回路支持体の底面斜視図である。

【図 3 3】図 2 8 のロボット機器の手持ち部分用の加重エンドキャップの底面斜視図である。

【図 3 4】図 2 8 のロボット機器のグリップの斜視図である。

【図 3 5】ロボット機器の代替構成の斜視図である。

【図 3 6】図 3 5 のロボット機器の代替構成の側面立面図である。

【図 3 7】図 3 5 のロボット機器の代替構成の背面斜視図である。

【図 3 8 A】線形アクチュエータおよび回転アクチュエータアセンブリを示す、図 3 5 のロボット機器の代替構成の側面立面図である。

20

【図 3 8 B】回転アクチュエータアセンブリおよびツール支持体を示す、図 3 5 のロボット機器の代替構成の横断面図である。

【図 3 8 C】回転アクチュエータモータを備えたツール支持体の斜視図である。

【図 3 9 A】ロボット機器のヘッドから分離されたモータを備えたツール支持体を示しており、ヘッドはリング歯車を含む。

【図 3 9 B】ロボット機器のヘッドから分離されたモータを備えたツール支持体を示しており、ヘッドはリング歯車を含む。

【図 4 0 A】図 3 5 のロボット機器のツール支持体の斜視図である。

【図 4 0 B】図 3 5 のロボット機器のツール支持体の斜視図である。

30

【図 4 1】ツール支持体の本体および複数のアクチュエータへの関連するジョイント接続を示す分解図である。

【図 4 2】手持ち部分のベースおよび複数のアクチュエータへの関連するジョイント接続を示す分解図である。

【図 4 3】手持ち部分のベースの上面斜視図である。

【図 4 4】受動リンクエッジのシャフトの斜視図である。

【図 4 5 A】ツール支持体およびヘッドの異なる作動位置を示す図 3 5 のロボット機器の斜視図を示す。

【図 4 5 B】ツール支持体およびヘッドの異なる作動位置を示す図 3 5 のロボット機器の斜視図を示す。

40

【図 4 6】ロボット機器の代替構成の斜視図である。

【図 4 7】図 4 6 のロボット機器の正面斜視図である。

【図 4 8】図 4 6 のロボット機器の背面斜視図である。

【図 4 9】上昇アクチュエータを含むアクチュエータアセンブリを備えた図 4 6 のロボット機器の側面図である。

【図 5 0】図 4 6 のロボット機器の背面斜視図である。

【図 5 1 A】図 4 6 のロボット機器のツール支持体の斜視図である。

【図 5 1 B】図 4 6 のロボット機器のツール支持体の斜視図である。

【図 5 2】ツール支持体の本体および上昇アクチュエータへの関連するジョイント接続を示す分解図である。

50

【図 5 3 A】上昇アクチュエータおよび一對の 2 次アクチュエータを含むアクチュエータアセンブリを示す側面斜視図である。

【図 5 3 B】アクチュエータアセンブリの分解図を示している。

【図 5 4 A】ツール支持体に取り付けられたアクチュエータアセンブリの斜視図である。

【図 5 4 B】上昇アクチュエータの断面図である。

【図 5 5 A】手持ち式本体に対してツール支持体を動かすアクチュエータアセンブリの概略図である。

【図 5 5 B】手持ち式本体に対してツール支持体を動かすアクチュエータアセンブリの概略図である。

【図 5 5 C】手持ち式本体に対してツール支持体を動かすアクチュエータアセンブリの概略図である。

【図 5 6 A】手持ち式本体に対してツール支持体のロールを調整する 2 次アクチュエータを示している。

【図 5 6 B】手持ち式本体に対してツール支持体のロールを調整する 2 次アクチュエータを示している。

【図 5 6 C】手持ち式本体に対してツール支持体のロールを調整する 2 次アクチュエータを示している。

【図 5 7】モジュールツールシステムを備えたロボット機器の代替構成の斜視図を示している。

【図 5 8 A】図 5 7 のロボット機器で使用するための複数のモジュールツールアタッチメントの斜視図を示している。

【図 5 8 B】図 5 7 のロボット機器で使用するための複数のモジュールツールアタッチメントの斜視図を示している。

【図 5 8 C】図 5 7 のロボット機器で使用するための複数のモジュールツールアタッチメントの斜視図を示している。

【図 5 8 D】図 5 7 のロボット機器で使用するための複数のモジュールツールアタッチメントの斜視図を示している。

【図 5 9】切断ガイドとして構成されたロボット機器の斜視図である。

【図 6 0】ロボット機器の代替構成の斜視図を示している。

【図 6 1 A】ロボット機器が様々なアクチュエータ挙動で使用される様々な領域を示している。

【図 6 1 B】ロボット機器が様々なアクチュエータ挙動で使用される様々な領域を示している。

【図 6 2 A】選択されたモードでのアクチュエータ制御の一例を示している。

【図 6 2 B】選択されたモードでのアクチュエータ制御の一例を示している。

【図 6 2 C】選択されたモードでのアクチュエータ制御の一例を示している。

【図 6 3 A】切断を実行するロボット機器の概略図を示す。

【図 6 3 B】切断を実行するロボット機器の概略図を示す。

【図 6 4】患者の解剖学的構造および外科用ロボット機器に関連するナビゲーションシステムの一部を示している。

【図 6 5】手持ち部分に配置されたガイダンスアレイを備えた機器を示している。

【図 6 6】ディスプレイ画面としてガイダンスアレイを備えた機器を示している。

【図 6 7】手持ち部分にアクチュエータを取り付けるための代替構成を示している。

【図 6 8】手持ち部分にアクチュエータを取り付けるための代替構成を示している。

【図 6 9】入力装置を備えた代替グリップを示している。

【図 7 0】ロボットシステムの代替構成の斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0036】

概要

図 1 を参照すると、ロボットシステム 10 が示されている。ロボットシステム 10 は、

10

20

30

40

50

患者 1 2 が全人工膝関節 I M を受け入れることができるように、患者 1 2 の大腿骨 F および脛骨 T の部分を切除するために、患者 1 2 に対して全膝手術を実行することが示されている。ロボットシステム 1 0 は、硬組織／軟組織の除去、または他の形態の治療を含む処置を含む、他のタイプの外科的処置を実行するためにも使用され得る。例えば、治療は、組織の切断、組織の凝固、組織の切除、組織のステーブル留め、組織の縫合などを含み得る。いくつかの例では、外科的処置は、膝手術、股関節手術、肩の手術、脊椎手術、および／または足首の手術を含み、膝移植、股関節移植、肩の移植、脊椎移植、および／または足首の移植などの外科的移植によって置き換えられる組織を除去することを含み得る。本明細書に開示されるロボットシステム 1 0 および技術は、外科的または非外科的の他の処置を実行するために使用してもよく、そして産業用用途またはロボットシステムが利用される他の用途において使用してもよい。

10

【0037】

図 1 および 2 を参照すると、ロボットシステム 1 0 は、ロボット機器 1 4 を含む。いくつかの例では、ユーザは、機器 1 4 を手動で保持し、支持する（図 1 に示されるように）。いくつかの例では、図 7 0 を参照すると、機器が受動アーム（例えば、ロックジョイントを備えたリンクージアーム）、能動アームなどの補助装置（例えば、図 7 0 の隠線で示されている受動アーム 1 5 を参照）によって少なくとも部分的または完全に支持されている間、ユーザは機器 1 4 を手動で保持することができる。図 1 および 2 に最もよく示されるように、機器 1 4 は、ユーザおよび／または補助装置によって手で把持および／または支持されるための手持ち部分 1 6 を備える。

20

【0038】

機器 1 4 は、ガイドアームの支援を借りずに、例えば、ツールの重量が処置中のユーザの手のみによって支えられるように材料の物理的除去を行い、人間のユーザによって保持されるように構成されて、ユーザによって自由に動かされ、支持され得る。別の言い方をすれば、機器 1 4 は、ユーザの手が重力に逆らって機器 1 4 を支持して保持されるように構成され得る。機器 1 4 は、8 ポンド以下または、6 ポンド以下または、5 ポンド以下、またはさらに 3 ポンド以下の重さであり得る。機器 1 4 は、ANSI / AAMI HE 7 5 : 2 0 0 9 に対応する重量を有することができる。機器 1 4 はまた、ツール 2 0 を受け入れるためのツール支持体 1 8 を備える。機器 1 4 を動作するための方法は、受動アームまたはロボットアームの支援なしに、ユーザが機器 1 4 の重量を吊り下げることを含み得る。K a n g らの米国特許第 9 , 0 6 0 , 7 9 4 号の受動アームおよび内容は、参照により本明細書に組み込まれる。ロボットシステム 1 0 は、いくつかの例では、直列に複数のジョイントを有するロボットアームがない場合がある。

30

【0039】

ツール 2 0 は、ツール支持体 1 8 に結合して、以下でさらに説明するロボットシステム 1 0 の特定の動作において解剖学的構造と相互作用する。ツール 2 0 は、エンドエフェクタと呼ばれることもある。ツール 2 0 は、必要なときに新しい／異なるツール 2 0 を取り付けることができるように、ツール支持体 1 8 から取り外し可能であり得る。ツール 2 0 はまた、ツール支持体 1 8 に恒久的に固定され得る。ツール 2 0 は、患者 1 2 の組織に接触するように設計されたエネルギーアプリーケータを備え得る。いくつかの例では、ツール 2 0 は、図 1 および 2 に示されるような鋸刃、または他のタイプの切断付属品であり得る。このような場合、ツール支持体は刃支持体と呼ばれることがある。刃支持体と呼ばれる場合は、「ツール支持体」という用語の代わりに使用でき、その逆も可能であることを理解しておく必要がある。しかしながら、参照により本明細書に組み込まれる、B o z u n g の米国特許第 9 , 7 0 7 , 0 4 3 号の内容などの他のツールが企図され得る。いくつかの例では、ツール 2 0 は、ドリルビット、超音波振動チップ、バー（b u r）、ステープラーなどであり得る。ツール 2 0 は、W a l e n らの米国特許第 9 , 8 2 0 , 7 5 3 号または米国特許第 1 0 , 6 8 7 , 8 2 3 号に示されている刃アセンブリを含み得る（これらは参照により本明細書に組み入れられる）。ツール支持体 1 8 は、刃アセンブリの振動運動を駆動するために、駆動モータ M および W a l e n らの米国特許第 9 , 8 2 0 , 7 5 3

40

50

号に示される他の駆動構成要素を組み込むことができる。そのような駆動構成要素は、駆動モータMからの回転運動をツール20の振動運動に変換するために、駆動モータMに結合されたミッションTMを備え得る。

【0040】

1つまたは複数のアクチュエータ21、22、23を含むアクチュエータアセンブリ400は、ツール支持体18を手持ち部分16に対して3自由度で動かして、ツール20を所望の位置および／または方向（例えば、切除中の大腿骨Fおよび／または脛骨Tに対して所望の姿勢）に配置するのを支援するロボット運動を提供し、一方、ユーザは、手持ち部分16を手動で保持する。アクチュエータアセンブリ400は、並列、直列、またはその両方に配置されたアクチュエータ21、22、23を備えることができる。いくつかの例では、アクチュエータ21、22、23は、手持ち部分16に対して3つ以上の自由度でツール支持体18を動かす。いくつかの例では、アクチュエータアセンブリ400は、ピッチおよびz軸の並進（translation）など、少なくとも2自由度で、手持ち部分16に対してツール支持体18を動かすように構成される。本明細書に示されるようないくつかの例では、アクチュエータ21、22、23は、手持ち部分16およびその関連するベース座標系BCSに対してわずか3自由度でツール支持体18およびその関連するツール支持体座標系TCSを動かす。例えば、ツール支持体18およびそのツール支持体座標系TCSは、以下を行うことができる。y軸を中心に回転してピッチ運動を提供し、x軸を中心に回転してロール運動を提供し、そして、ベース座標系BCSのz軸と一致する軸Zに沿って並進して、z軸並進運動を提供することができる。ピッチ、ロール、およびz軸の並進で可能になる運動は、図2と、図3A～3C、4A～4C、および5A～5Cの概略図の矢印によってそれぞれ示されている。図6は、機器14の可動範囲内でのツール支持体18の姿勢および手持ち部分16の姿勢の一例を提供する。図に示されていないいくつかの例では、アクチュエータは、手持ち部分16に対して4以上の自由度でツール支持体18を動かすことができる。

【0041】

図2に戻り参照すると、受動リンクージ26を有する拘束アセンブリ24を使用して、残りの3自由度において、手持ち部分16に対するツール支持体18の動きを拘束することができる。拘束アセンブリ24は、本明細書に記載されるように運動を拘束するための任意の適切なリンクージ（例えば、任意の適切な形状または構成を有する1つまたは複数のリンク）を含むことができる。図2に示される例では、拘束アセンブリ24は、以下によってツール支持体座標系TCSの動きを制限するように動作する。ヨー運動を拘束するために、ベース座標系BCSのz軸の周りの回転を拘束する。x軸の並進を拘束するためにベース座標系BCSのx軸方向の並進を拘束する。そして、ベース座標系BCSのy軸方向への並進を拘束して、y軸並進を拘束する。アクチュエータ21、22、23および拘束アセンブリ24は、以下でさらに説明される特定の状況において、物理的な鋸切断ガイドなどの物理的切断ガイドPCGの機能を効果的に模倣するように制御される（図2の隠線を参照）。

【0042】

図7を参照すると、機器コントローラ28、または他のタイプの制御ユニットが、機器14を制御するために提供される。機器コントローラ28は、1つまたは複数のコンピュータ、または手持ち部分16に対する機器14の動作とツール支持体18（およびツール20）の運動を指示する任意の他の適切な形態のコントローラを備え得る。機器コントローラ28は、中央処理装置（CPU）および／または他のプロセッサ、メモリ、およびストレージ（図示せず）を有し得る。機器コントローラ28は、以下に説明するようにソフトウェアを搭載している。プロセッサは、機器14の動作を制御するための1つまたは複数のプロセッサを含むことができる。プロセッサは、任意のタイプのマイクロプロセッサ、マルチプロセッサ、および／またはマルチコア処理システムであり得る。機器コントローラ28は、さらに、または代わりに、1つまたは複数のマイクロコントローラ、フィールドプログラマブルゲートアレイ、チップ上のシステム、ディスクリート回路、および／

または本明細書に記載の機能を実行することができる他の適切なハードウェア、ソフトウェア、またはファームウェアを含み得る。プロセッサという用語は、任意の実施形態を単一のプロセッサに限定することを意図するものではない。機器 14 はまた、1 つまたは複数のディスプレイおよび／または入力装置（例えば、トリガー、押しボタン、フットスイッチ、キーボード、マウス、マイクロフォン（音声起動）、ジェスチャ制御装置、タッチスクリーンなど）を備えたユーザインターフェース UI を備え得る。

【0043】

機器コントローラ 28 は、ツール 20 への電力を制御することによって（例えば、切断運動を制御するツール 20 の駆動モータ M への）、および手持ち部分 16 に対するツール支持体 18 の動きを制御すること（例えば、アクチュエータ 21、22、23 を制御することによる）などによって、ツール 20 の動作を制御する。機器コントローラ 28 は、手持ち部分 16 に対するツール支持体 18 およびツール 20 の状態（例えば、位置および／または方向）を制御する。機器コントローラ 28 は、手持ち部分 16 に対して、および／またはアクチュエータ 21、22、23 によって引き起こされる解剖学的構造に対して、ツール 20 の速度（線形または角）、加速度、または運動の他の派生物を制御することができる。

【0044】

図 2 に示されるように、機器コントローラ 28 は、ツール支持体 18 に取り付けられた制御ハウジング 29 を備え、制御ハウジング 29 の内部には 1 つまたは複数の制御盤 31（例えば、1 つまたは複数のプリント回路基板および関連する電子部品）が配置されている。制御盤 31 は、アクチュエータ 21、22、23 および駆動モータ M を（例えば、モータコントローラを介して）制御するためのマイクロコントローラ、ドライバ、メモリ、センサ、または他の電子部品を備えることができる。機器コントローラ 28 はまた、制御盤 31 とのデータおよび電力通信におけるオフボード制御コンソール 33 を備え得る。本明細書に記載のセンサ S、アクチュエータ 21、22、23、および／または駆動モータ M は、信号を制御盤 31 に送り、制御盤 31 は、データ信号を処理のためにコンソール 33 に送信し、コンソール 33 は、アクチュエータ 21、22、23 および／または駆動モータ M の位置決めのために電力を供給して制御するために、電力および／または位置命令を制御盤 31 に供給する。処理はまた、制御ハウジングの制御盤上で実行され得ることが企図される。もちろん、別個の制御ハウジングは必要ないと考えられる。

【0045】

いくつかのバージョンでは、コンソール 33 は、アクチュエータ 21、22、23、および駆動モータ M に電力を供給し、制御するための単一のコンソールを含み得る。いくつかのバージョンでは、コンソール 33 は、アクチュエータ 21、22、23 に電力を供給し、制御するための 1 つのコンソール、駆動モータ M に電力を供給し、制御するための別個のコンソールを含み得る。駆動モータ M に電力を供給し、制御するためのそのようなコンソールの 1 つは、「動力付き外科用ハンドピースが接続されている制御コンソール、すべてのハンドピースより少ない複数のハンドピースを同時に通電するように構成されたコンソール」と題された 2004 年 9 月 30 日に出願された米国特許第 7,422,582 号に記載されているものと同様であり、参照により本明細書に組み込まれる。フレックス回路としても知られるフレキシブル回路 FC は、アクチュエータ 21、22、23 および／または他の構成要素を機器コントローラ 28 と相互接続することができる。例えば、アクチュエータ 21、22、23 と制御盤 31 との間にフレキシブル回路 FC を設けることができる。有線または無線の他の形式の接続が、構成要素間に追加的または代替的に存在し得る。

【0046】

図 1 に簡単に戻り参照すると、ロボットシステム 10 は、ナビゲーションシステム 32 をさらに含む。ナビゲーションシステム 32 の一例は、参照により本明細書に組み込まれる「光学および非光学センサを含むナビゲーションシステム」と題された、2013 年 9 月 24 日に出願された米国特許第 9,008,757 号に記載されている。ナビゲーショ

10

20

30

40

50

ンシステム32は、様々な物体の動きを追跡する。そのような物体には、例えば、機器14、ツール20、および解剖学的構造、例えば、大腿骨Fおよび脛骨Tが含まれる。ナビゲーションシステム32は、これらの物体を追跡して、（ナビゲーション）ローカライザ座標系LCZに関して各物体の状態情報を収集する。本明細書で使用される場合、物体の状態は、追跡される物体の位置および／または方向（例えば、その座標系）または位置および／または方向の同等物／派生物を規定するデータを含むが、これらに限定されない。例えば、状態は、物体の姿勢であり得、および／または線形速度データ、角速度データなどを含み得る。

【0047】

ナビゲーションシステム32は、ナビゲーションコントローラ36、および／または他のタイプの制御ユニットを収容するカートアセンブリ34を含むことができる。ナビゲーションユーザインターフェースUIは、ナビゲーションコントローラ36と動作可能に通信している。ナビゲーションユーザインターフェースUIは、1つまたは複数のディスプレイ38を含む。ナビゲーションシステム32は、1つまたは複数のディスプレイ38を使用して、追跡された物体の相対的な状態のグラフィック表現をユーザに表示することができる。ナビゲーションユーザインターフェースUIは、ナビゲーションコントローラ36に情報を入力するため、または、ナビゲーションコントローラ36の特定の態様を選択／制御するための1つまたは複数の入力装置をさらに備える。このような入力装置には、インタラクティブなタッチスクリーンディスプレイが含まれる。しかしながら、入力装置は、押しボタン、フットスイッチ、キーボード、マウス、マイクロフォン（音声起動）、ジェスチャ制御装置などのうちの任意の1つまたは複数を含み得る。

【0048】

ナビゲーションシステム32はまた、ナビゲーションコントローラ36に結合されたナビゲーションローカライザ44を含む。一例では、ローカライザ44は光学ローカライザであり、カメラユニット46を含む。カメラユニット46は、1つまたは複数の光学センサ50を収容する外部ケーシング48を有する。ローカライザ44は、それ自体のローカライザコントローラ49を含み得、さらにビデオカメラVCを含み得る。

【0049】

ナビゲーションシステム32は、1つまたは複数のトラッカーを含む。いくつかの例では、トラッカーは、ポインタトラッカーPT、ツールトラッカー52、第1の患者トラッカー54、および第2の患者トラッカー56を含む。図1の例では、ツールトラッカー52は機器14にしっかりと取り付けられており、第1の患者トラッカー54は患者12の大腿骨Fにしっかりと取り付けられており、第2の患者トラッカー56は患者12の脛骨Tにしっかりと取り付けられている。この例では、患者トラッカー54、56は骨の部分にしっかりと固定されている。ポインタトラッカーPTは、解剖学的構造をローカライザ座標系LCZに登録するために使用される、および／または他の較正および／または登録機能に使用されるポインタ57にしっかりと取り付けられている。

【0050】

ツールトラッカー52は、機器14の任意の適切な構成要素に取り付けられ、いくつかのバージョンでは、手持ち部分16、ツール支持体18、直接、ツール20に、またはこれらの組み合わせに取り付けられる。トラッカー52、54、56、PTは、ファスナ、クランプなどによって、任意の適切な方法でそれぞれの構成要素に固定することができる。例えば、トラッカー52、54、56、PTは、関連する物体へのそれぞれのトラッカーの関係（測定）を決定するための適切な（補足的な）方法がある限り、堅固に固定されるか、柔軟に接続される（光ファイバー）、または物理的にまったく接続されない（超音波）ことができる。トラッカー52、54、56、PTのいずれか1つまたは複数は、能動マーカー58を含み得る。能動マーカー58は、発光ダイオード（LED）を含み得る。あるいは、トラッカー52、54、56、PTは、カメラユニット46から放出された光を反射する反射器などの受動マーカーを有し得る。印刷されたマーカー、または本明細書に具体的に記載されていない他の適切なマーカーもまた利用され得る。

10

20

30

40

50

【0051】

物体を追跡する目的で、様々な座標系を使用することができる。例えば、座標系は、ローカライザ座標系 L C L Z、ツール支持体座標系 T C S、ベース座標系 B C S、トラッカー 5 2、5 4、5 6、P T のそれぞれに関連する座標系、解剖学的構造に関連する 1 つまたは複数の座標系、術前および／または術中画像（例えば、C T 画像、M R I 画像など）および／または解剖学的構造のモデル（例えば、2 D または 3 D モデル）に関連する 1 つまたは複数の座標系、および T C P（ツール中心点）座標系を含み得る。様々な座標系の座標は、例えば、登録、較正、幾何学的関係、測定などを介して、座標系間の関係を確立する際の変換を使用して、他の座標系に変換され得る。

【0052】

図 2 に示されるように、いくつかの例では、T C P は、ツール 2 0 の遠位端で規定された T C P 座標系の所定の基準点または原点である。ツール 2 0 の形状は、T C P 座標系を基準にして、および／またはツール支持体座標系 T C S を基準にして規定することができる。ツール 2 0 は、1 つまたは複数の幾何学的特徴、例えば、周囲、円周、半径、直径、幅、長さ、高さ、体積、面積、表面／平面、（任意の 1 つまたは複数の軸に沿った）運動エンベロープの範囲などを含み得、T C P 座標系および／またはツール支持体座標系 T C S を基準にして規定され、ナビゲーションシステム 3 2 に記憶される。いくつかの例では、ツール 2 0 は、便宜上および例示を容易にするために説明される刃平面（例えば、鋸刃用）を有するが、ツール 2 0 を特定の形態に限定することを意図するものではない。点、他のプリミティブ（*primitives*）、メッシュ、他の 3 D モデルなどを使用して、ツール 2 0 を仮想的に表すことができる。T C P 座標系、ツール支持体座標系 T C S、およびツールトラッカー 5 2 の座標系は、ツール 2 0 の構成に応じて様々な方法で規定することができる。例えば、ポイント 5 7 は、ツール支持体 1 8 および／またはツール 2 0 内の較正ディボット（*calibration divots*）C D と共に、以下のために使用され得る。すなわち、ツールトラッカー 5 2 の座標系に対するツール支持体座標系 T C S の姿勢を決定（較正）し、ツールトラッカー 5 2 の座標系に対する T C P 座標系の姿勢を決定し、および／またはツール支持体座標系 T C S に対する T C P 座標系の姿勢を決定する。1 つまたは複数の追加のトラッカー／マーカをツール 2 0 に直接取り付けて固定することなどによって、T C P 座標系の姿勢を直接測定するために他の技法を使用することができる。いくつかのバージョンでは、トラッカー／マーカは、手持ち部分 1 6、ツール支持体 1 8、またはその両方に取り付けて固定することもできる。

【0053】

ツール支持体 1 8 は、アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 を介して、手持ち部分 1 6 に対して複数の自由度で移動可能であるため、機器 1 4 は、エンコーダ、ホール効果センサ（アナログまたはデジタル出力を備えた）、および／または他の任意の位置感知方法を使用して、ベース座標系 B C S に対する T C P 座標系および／またはツール支持体座標系 T C S の姿勢を測定することができる。機器 1 4 は、アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 の作動を測定するセンサからの測定値を使用して、以下でさらに説明するように、ベース座標系 B C S に対する T C P 座標系および／またはツール支持体座標系 T C S の姿勢を決定することができる。

【0054】

ローカライザ 4 4 は、トラッカー 5 2、5 4、5 6、P T（例えば、その座標系）を監視して、それぞれが取り付けられている物体の状態に対応するトラッカー 5 2、5 4、5 6、P T の状態を決定する。ローカライザ 4 4 は、既知の三角測量技術を実行して、トラッカー 5 2、5 4、5 6、P T、および関連する物体の状態を決定することができる。ローカライザ 4 4 は、トラッカー 5 2、5 4、5 6、P T の状態をナビゲーションコントローラ 3 6 に提供する。いくつかの例では、ナビゲーションコントローラ 3 6 は、トラッカー 5 2、5 4、5 6、P T の状態を決定し、機器コントローラ 2 8 に伝達する。

【0055】

ナビゲーションコントローラ 3 6 は、1 つまたは複数のコンピュータ、または任意の他

10

20

30

40

50

の適切な形態のコントローラを含み得る。ナビゲーションコントローラ 36 は、中央処理装置（CPU）および／または他のプロセッサ、メモリ、およびストレージ（図示せず）を有する。プロセッサは、任意のタイプのプロセッサ、マイクロプロセッサ、またはマルチプロセッサシステムにすることができる。ナビゲーションコントローラ 36 にはソフトウェアが搭載されている。ソフトウェアは、例えば、ローカライザ 44 から受信した信号を、追跡されている物体の位置および／または方向を表すデータに変換する。ナビゲーションコントローラ 36 は、追加的または代替的に、1 つまたは複数のマイクロコントローラ、フィールドプログラマブルゲートアレイ、チップ上のシステム、ディスクリート回路、および／または本明細書に記載の機能を実行することができる他の適切なハードウェア、ソフトウェア、またはファームウェアを含み得る。プロセッサという用語は、任意の実施形態を単一のプロセッサに限定することを意図するものではない。

10

【0056】

物体の状態を決定するために三角測量技術を使用するナビゲーションシステム 32 の一例が示されているが、ナビゲーションシステム 32 は、機器 14、ツール 20、および／または患者 12 を追跡するための他の任意の適切な構成を有し得る。別の例では、ナビゲーションシステム 32 および／またはローカライザ 44 は超音波ベースである。例えば、ナビゲーションシステム 32 は、ナビゲーションコントローラ 36 に結合された超音波画像化装置を備え得る。超音波画像化装置は、前述の物体、例えば、機器 14、ツール 20、および／または患者 12 のいずれかを画像化し、超音波画像に基づいてナビゲーションコントローラ 36 への状態信号を生成する。超音波画像は、2D、3D、または両方の組み合わせであり得る。ナビゲーションコントローラ 36 は、物体の状態を決定するためにほぼリアルタイムで画像を処理することができる。超音波画像化装置は、任意の適切な構成を有し、図 1 に示されるようにカメラユニット 46 とは異なってもよい。

20

【0057】

別の例では、ナビゲーションシステム 32 および／またはローカライザ 44 は、無線周波数（RF）ベースである。例えば、ナビゲーションシステム 32 は、ナビゲーションコントローラ 36 に結合された RF トランシーバを備え得る。機器 14、ツール 20、および／または患者 12 は、それに取り付けられた RF エミッタまたはトランスポンダを備え得る。RF エミッタまたはトランスポンダは、受動的または能動的に通電され得る。RF トランシーバは、RF 追跡信号を送信し、RF エミッタから受信した RF 信号に基づいて、ナビゲーションコントローラ 36 に状態信号を生成する。ナビゲーションコントローラ 36 は、受信した RF 信号を分析して、相対的な状態をそれに関連付けることができる。RF 信号は、任意の適切な周波数のものであり得る。RF トランシーバは、RF 信号を効果的に使用して物体を追跡するために、任意の適切な位置に配置することができる。さらに、RF エミッタまたはトランスポンダは、図 1 に示されるトラッカー 52、54、56、PT とは大きく異なる任意の適切な構造構成を有し得る。

30

【0058】

さらに別の例では、ナビゲーションシステム 32 および／またはローカライザ 44 は電磁ベースである。例えば、ナビゲーションシステム 32 は、ナビゲーションコントローラ 36 に結合された EM トランシーバを備え得る。機器 14、ツール 20、および／または患者 12 には、任意の適切な磁気トラッカー、電磁トラッカー、誘導トラッカーなどの EM 構成要素が取り付けられ得る。トラッカーは、受動的または能動的に通電することができる。EM トランシーバは、EM フィールドを生成し、トラッカーから受信した EM 信号に基づいて、ナビゲーションコントローラ 36 への状態信号を生成する。ナビゲーションコントローラ 36 は、受信した EM 信号を分析して、相対状態をそれに関連付けることができる。この場合も、そのようなナビゲーションシステム 32 の例は、図 1 に示されるナビゲーションシステム 32 の構成とは異なる構造構成を有し得る。

40

【0059】

ナビゲーションシステム 32 は、本明細書に具体的に記載されていない他の任意の適切な構成要素または構造を有し得る。さらに、示されるナビゲーションシステム 32 に関し

50

て上記で説明される技術、方法、および／または構成要素のいずれかは、本明細書で説明されるナビゲーションシステム32の他の例のいずれかのために実装または提供され得る。例えば、ナビゲーションシステム32は、慣性追跡のみ、または追跡技術の任意の組み合わせを利用することができ、追加的または代替的に、光ファイバーベースの追跡、マシンビジョン追跡などを含むことができる。

【0060】

図7を参照すると、ロボットシステム10は、他の構成要素に加えて、機器コントローラ28およびナビゲーションコントローラ36を含む制御システム60を含む。制御システム60はさらに、1つまたは複数のソフトウェアプログラムおよびソフトウェアモジュールを含む。ソフトウェアモジュールは、ロボットシステム10の制御を支援するためにデータを処理するために、機器コントローラ28、ナビゲーションコントローラ36、またはそれらの組み合わせで動作する1つまたは複数のプログラムの一部であり得る。ソフトウェアプログラムおよび／またはモジュールは、コントローラ28、36の1つまたは複数のプロセッサ70によって実行される、機器コントローラ28、ナビゲーションコントローラ36、またはそれらの組み合わせのメモリ64に記憶されたコンピュータ可読指示を含む。メモリ64は、非一時的メモリ、RAM、不揮発性メモリなどの任意の適切なメモリ構成であり得、局所にまたは遠隔データベースから実装され得る。さらに、ユーザにプロンプトを表示および／または通信するためのソフトウェアモジュールは、1つまたは複数のプログラムの一部を形成し、機器コントローラ28、ナビゲーションコントローラ36、またはそれらの組み合わせのメモリ64に記憶された指示を含み得る。ユーザは、ナビゲーションユーザインターフェースUIまたは他のユーザインターフェースUIの入力装置のいずれかと対話して、ソフトウェアモジュールと通信することができる。ユーザインターフェースソフトウェアは、機器コントローラ28および／またはナビゲーションコントローラ36とは別の装置上で実行することができる。機器14は、電源／データ接続を介して機器コントローラ28と通信することができる。電源／データ接続は、ナビゲーションシステム32によって生成され、機器コントローラ28に送信される位置および方向データに基づいて、機器14を制御するために使用される入力および出力のための経路を提供し得る。

【0061】

制御システム60は、入力、出力、および本明細書に記載の機能および方法を実行するのに適した処理装置の任意の適切な構成を備え得る。制御システム60は、機器コントローラ28、ナビゲーションコントローラ36、またはそれらの組み合わせを含み、および／またはこれらのコントローラのうちの1つのみ、または追加のコントローラを含み得る。コントローラは、図7に示すように、有線バスまたは通信ネットワークを介して、無線通信を介して、またはその他の方法で通信することができる。制御システム60は、コントローラと呼ばれることもある。制御システム60は、1つまたは複数のマイクロコントローラ、フィールドプログラマブルゲートアレイ、チップ上のシステム、ディスクリート回路、センサ、ディスプレイ、ユーザインターフェース、インジケータ、および／または本明細書に記載されている機能を実行できる他の適切なハードウェア、ソフトウェア、またはファームウェアを含み得る。

【0062】

機器

1つの例示的な構成において、機器14は、図8～19に最もよく示されている。機器14は、ユーザによって保持される手持ち部分16と、ツール20を支持するために手持ち部分16に移動可能に結合されたツール支持体18と、複数のアクチュエータ21、22、23を備え、ツール支持体18と手持ち部分16とを動作可能に相互接続して、ツール支持体18を手持ち部分16に対して3自由度で動かすアクチュエータアセンブリ40と、ツール支持体18と手持ち部分16とを動作可能に相互接続する受動リンケージ26を有する拘束アセンブリ24と、を含む。

【0063】

手持ち部分 16 は、ユーザが機器 14 を手動で支持することができるように、ユーザによって把持されるためのグリップ 72 を備える。手持ち部分 16 は、ユーザの手で保持するためのグリップ、ユーザの手が濡れているおよび／または血が混じっているときに滑るのを防ぐためのテクスチャード加工または混合材料コーティングなどの人間工学的特徴を備えて構成され得る。手持ち部分 16 は、異なる手のサイズを有するユーザに対応するためのテーパを含んでもよく、ユーザの手および／または指の輪郭と合うように輪郭が形成されている。手持ち部分 16 はまた、グリップ 72 が 1 つまたは複数のファスナ、接着剤、溶接などによって取り付けられるベース 74 を備える。示されるバージョンでは、ベース 74 は、ほぼ中空の円筒形を有するスリーブ 76 を備える。ジョイント支持体 77、78、79 はスリーブ 76 から延びる。アクチュエータ 21、22、23 は、以下でさらに説明するジョイントを介して、ジョイント支持体 77、78、79 でベース 74 に移動可能に結合することができる。

【0064】

ツール支持体 18 は、ツール支持体 18 に 1 つまたは複数の取り付け位置 82 で固定された 1 つまたは複数のトラッカーマウントを介してトラッカー 52 を取り外し可能に取り付けることができるツール支持本体 80 を備える。ツール 20 は、示されているバージョンのツール支持体 18 に取り外し可能に結合されている。特に、ツール支持体 18 は、参照により本明細書に組み込まれる、Wal en らの米国特許第 9,820,753 号に記載されているように、ツール 20 が取り付けられるヘッド 84 などのツールカブラを備える。ツール 20 の動作を駆動する駆動モータ M は、ツール支持本体 80 内に配置されている（例えば、いくつかのバージョンでは鋸刃の振動を駆動するために）。ツール 20 は、参照により本明細書に組み込まれる、Wal en らの米国特許第 9,820,753 号に開示されている方法で、ヘッド 84 に取り付けられ、そしてヘッド 84 から解放され得る。図 12 および 13 に最もよく示されるように、ツール支持体 18 はまた、さらに下に説明されるように、アクチュエータ 21、22、23 が、ジョイントを介してツール支持体 18 に移動可能に結合される複数のアクチュエータマウント 86、88、90 を備える。アクチュエータマウント 86、88、90 は、ツール支持体 18 が手持ち部分 16 に対して少なくとも 3 自由度で移動可能となるようにアクチュエータ 21、22、23 を取り付けのに適したブラケットなどを備え得る。

【0065】

示されているバージョンのアクチュエータ 21、22、23 は、ベース 74 とツール支持本体 80 との間に延びる電氣的線形アクチュエータを含む。作動すると、アクチュエータ 21、22、23 の有効長が変更して、アクチュエータ 21、22、23 の対応する軸に沿ってツール支持本体 80 とベース 74 との間の距離を変化させる。したがって、アクチュエータ 21、22、23 は協調して動作して、それらの有効長を変更し、手持ち部分 16 に対して少なくとも 3 自由度でツール支持体 18 を動かす。示されているバージョンでは、3 つのアクチュエータ 21、22、23 が提供され、第 1 のアクチュエータ 21、第 2 のアクチュエータ 22、および第 3 のアクチュエータ 23、または前部アクチュエータ 21、22、および後部アクチュエータ 23 と呼ばれることがある。第 1、第 2 および第 3 のアクチュエータ 21、22、23 は、第 1 の能動軸 AA1、第 2 の能動軸 AA2、および第 3 の能動軸 AA3 に沿って有効長が調整可能である（図 14 を参照）。第 1、第 2、および第 3 のアクチュエータ 21、22、23 は、有効長が独立して調整可能であり、前述のように、手持ち部分 16 に対するツール支持体 18 のピッチ方向、ロール方向、および z 軸並進位置のうちの 1 つまたは複数进行调整する。いくつかの例では、より多くのアクチュエータが提供され得る。アクチュエータは、いくつかの例では回転アクチュエータを含み得る。アクチュエータ 21、22、23 は、任意の適切なサイズまたは形状の 1 つまたは複数のリンクを有するリンケージを含み得る。アクチュエータ 21、22、23 は、少なくとも 3 自由度で、手持ち部分 16 に対してツール支持体 18 の動きを可能にするのに適した任意の構成を有することができる。例えば、いくつかのバージョンでは、1 つの前部アクチュエータと 2 つの後部アクチュエータ、またはいくつかの他のアクチュエ

ータの配置が存在し得る。

【0066】

このバージョンでは、アクチュエータ21、22、23は、複数の能動ジョイントを介してベース74およびツール支持本体80に結合されている。能動ジョイントは、アクチュエータ21、22、23をアクチュエータマウント86、88、90でツール支持本体80に結合する一組の第1の能動ジョイント92を含む。1つのバージョンでは、図14および16に示されるように、第1の能動ジョイント92は、能動Uジョイントを含む。Uジョイントは、第1の回転ピン94およびジョイントブロック96を備える。第1の回転ピン94は、ジョイントブロック96の貫通穴98を介して、ジョイントブロック96をアクチュエータマウント86、88、90に回転可能に接続する。止めねじ100は、第1の回転ピン94をアクチュエータマウント86、88、90に固定することができる。Uジョイントはまた、第2の回転ピン104を含み得る。ジョイントブロック96は、第2の回転ピン104を受け入れるためのクロス穴102を有する。第2の回転ピン104は、第1の回転ピン94、ジョイントブロック96、および第2の回転ピン104がUジョイントのクロスを形成するように、第1の回転ピン94を受け入れるための貫通穴103を有する。各Uジョイントの第1の回転ピン94と第2の回転ピン104は、交差する回転軸PAを規定する（図16を参照）。第2の回転ピン104は、アクチュエータ21、22、23の回転ヨーク106をジョイントブロック96に回転可能に接続する。結果として、アクチュエータ21、22、23は、ツール支持本体80に対して2自由度で動かすことができる。ピンを受け入れるスロットを備えたボールを含む能動球形ジョイント105などの他のタイプの能動ジョイントも企図される（例えば、図20および21を参照）。

【0067】

図14および15を参照すると、能動ジョイントはまた、2つの前部アクチュエータ21、22を手持ち部分16のベース74に結合する一組の第2の能動ジョイント108を含む。示されているバージョンでは、第2の能動ジョイント108は、ジョイント支持体77、78で支持されている。第2の能動ジョイント108のそれぞれは、スイベル軸SAの周りで手持ち部分16のベース74に対して回転するように配置されたスイベルヨーク110を備える。各スイベルヨーク110は、スイベルヘッド112と、スイベルヘッド112から延び、ジョイント支持体77、78の1つでベース74と回転可能に係合する支柱114とを有する。ナット115は、支柱114の一端にねじ込み式に接続して、支柱114をベース74に捕捉しながら、スイベルヨーク110が、それぞれのジョイント支持体77、78内で自由に回転できるようにする。

【0068】

第2の能動ジョイント108のそれぞれは、スイベルヨーク110の1つに回転可能に結合されたキャリア116を備える。キャリア116は、以下でさらに説明するように、2つの前部アクチュエータ21、22の親ねじ150を受け入れるために、内部にねじ山付きの貫通穴117を有する。キャリア116のそれぞれはまた、スイベルヨーク110のポケット120に着座することによって、キャリア116が回転軸PA（図14を参照）の周りでスイベルヨーク110に対して回転することを可能にする対向するトラニオン118を備える。いくつかのバージョンでは、第2の能動ジョイント108のそれぞれについて、スイベル軸SAが回転軸PAと交差して、アクチュエータ21、22が2自由度で動く単一の頂点（vertex）を規定する。

【0069】

カバー122は、スイベルヘッド112に固定され、ポケット120の一方を規定し、スイベルヘッド112は、他方のポケット120を規定する。組み立て中、キャリア116は、最初に、スイベルヘッド112のポケット120に配置されたトラニオン118の1つによって位置決めされ、次いで、キャリア116がカバー122とスイベルヘッド112の間に捕捉され、トラニオン118およびポケット120を介してスイベルヨーク110に対して回転することができるように、カバー122が他のトラニオン118に対し

て固定される。スイベルヨーク110および関連するキャリア116の構成、すなわち、スイベル軸SAを中心に回転し、回転軸PAを中心に旋回するキャリア116の能力によって、第2の能動ジョイント108は、ベース74に対して2つの前部アクチュエータ21、22の2自由度の動きを可能にする。2つの前部アクチュエータ21、22とベース74との間の他のジョイント配置も可能である。

【0070】

能動ジョイントはまた、後部（第3の）アクチュエータ23を手持ち部分16のベース74に結合する第3の能動ジョイント124を含む。示されているバージョンでは、第3の能動ジョイント124は、ジョイント支持体79で支持されている。第3の能動ジョイント124は、ベース74のジョイント支持体79に固定された旋回ハウジング126を備える。

10

【0071】

第3の能動ジョイント124は、トラニオン118を介して旋回ハウジング126に旋回可能に結合されたキャリア116を備える。ポケット132を有するファスナ130は、貫通穴133を介して旋回ハウジング126のいずれかの側に取り付けられて、トラニオン118と係合する。ファスナ130は、組み立て後にキャリア116がポケット132内に配置されているトラニオン118を介して旋回できるように構成されている。キャリア116は、以下でさらに説明するように、後部アクチュエータ23の親ねじ150を受け入れるために、内部にねじ山付きの貫通穴117を有する。旋回ハウジング126および関連するキャリア116の構成、すなわち、関連するキャリア116が回転軸PAを中心としてのみ旋回する（例えば、回転しない）能力によって、第3の能動ジョイント124は、ベース74に対する後部アクチュエータ23の動きの1自由度のみを可能にする。後部アクチュエータ23とベース74との間の他のジョイント配置も可能である。

20

【0072】

図16を参照すると、アクチュエータ21、22、23のそれぞれは、ハウジング134を備える。ハウジング134は、キャニスター136と、キャニスター136にねじ込み式に接続されたキャップ138とを備える。第1の能動ジョイント92の一部を形成する旋回ヨーク106は、ハウジング134および旋回ヨーク106が第1の能動ジョイント92を介してツール支持体18に対して一緒に動くことができるように、ハウジング134に固定される。キャップ138は、旋回ヨーク106の環状肩140を捕捉して、旋回ヨーク106をキャニスター136に固定する。

30

【0073】

いくつかのバージョンでは、旋回ヨーク106およびキャニスター136は、各旋回ヨーク106を、事前規定された相対的な方向でそれぞれのキャニスター136に整列するための1つまたは複数の整列機能を備える。そのような整列機能は、嵌合部分、キー／キー溝などを含み得る。組み立て中、旋回ヨーク106は、最初に、事前規定された相対的な方向でキャニスター136に固定され、次いで、キャップ138は、事前規定された相対的な方向でキャニスター136に対して旋回ヨーク106を捕捉するようにキャニスター136にねじ込まれる（例えば、外ねじおよび内ねじの嵌合を介して）。この事前規定された関係は、フレックス回路FCのルーティングおよび／または整列、キャニスター136に対する旋回ヨーク106のロールの防止、および／または他の目的に役立つ可能性がある。

40

【0074】

アクチュエータ21、22、23のそれぞれはまた、各ハウジング134に配置されたモータ142を含む。モータ142は、ハウジング134内に配置されたケーシング144と、ケーシング144内に配置されたモータ巻線アセンブリ146とを有する。モータ巻線アセンブリ146はまた、例えば、止めねじSS（図16を参照）または上記のものなどの他の整列機能を介して、キャニスター136に対して事前規定された相対的な方向で整列され得る。各モータ142はまた、親ねじ150に固定された回転子148を有する。親ねじ150は、1つまたは複数のブッシュおよび／またはベアリング151によっ

50

て、ハウジング 1 3 4 内で回転するように支持されている。回転子 1 4 8 および関連する親ねじ 1 5 0 は、モータ 1 4 2 の選択的通電時にハウジング 1 3 4 に対して回転するように構成される。親ねじ 1 5 0 は、逆駆動を防止するために微細なピッチおよびリード角を有する（すなわち、それらはセルフロックである）。結果として、ツール 2 0 に加えられた負荷は、モータ 1 4 2 を容易に逆駆動しない。いくつかの例では、親ねじ 1 5 0 は、0 . 0 2 から 0 . 0 3 インチ／回転のリードをもたらす 8 - 3 6 クラス 3 スレッドを有する。他のスレッドタイプ／サイズも使用できる。

【0 0 7 5】

アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 のそれぞれは、別個のモータコントローラによって制御されてもよい。モータコントローラは、アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 にそれぞれ別々に配線されて、各アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 を所与のターゲット位置に個別に向けることができる。いくつかの例では、モータコントローラは比例積分微分（P I D）コントローラである。いくつかの例では、モータコントローラは、機器コントローラ 2 8 と統合されるか、またはその一部を形成することができる。説明を容易にするために、モータコントローラは、本明細書では、機器コントローラ 2 8 の一部であると説明される。

【0 0 7 6】

電源は、例えば、コンソール 3 3 を介してモータ 1 4 2 に 3 2 V D C 電力信号を提供する。3 2 V D C 信号は、機器コントローラ 2 8 を介してモータ 1 4 2 に印加される。機器コントローラ 2 8 は、各モータ 1 4 2 に電力信号を選択的に提供して、モータ 1 4 2 を選択的に起動させる。モータ 1 4 2 のこの選択的な起動は、ツール 2 0 を位置決めするものである。モータ 1 4 2 は、ブラシレス D C サーボモータ、他の形態の D C モータなどを含む、任意の適切なタイプのモータであり得る。電源はまた、機器コントローラ 2 8 に電力を供給して、機器コントローラ 2 8 の内部の構成要素に電力を供給する。電源は、例えば、1 2 V D C、2 4 V D C、4 0 V D C などの他のタイプの電力信号を提供できることを理解されたい。

【0 0 7 7】

1 つまたは複数のセンサ S（図 7 も参照）は、信号を機器コントローラ 2 8 に送り返し、その結果、機器コントローラ 2 8 は、関連するアクチュエータ 2 1、2 2、2 3 の現在の位置（すなわち、測定位置）を決定できる。これらの信号のレベルは、関連する回転子 1 4 8 の回転位置の関数として変化し得る。一実装形態では、センサ S は、所与の回転内の回転子 1 4 8 の回転位置を高解像度で決定することができる。これらのセンサ S は、回転子 1 4 8、または親ねじ 1 5 0 に配置された他の磁石からの感知された磁場に基づいてアナログおよび／またはデジタル信号を出力するホール効果センサであり得る（例えば、図 1 6 の 2 極磁石 M G を参照）。ホール効果センサに電力を供給するための低電圧信号、例えば 5 V D C は、ホール効果センサが関連付けられているモータ 1 4 2 に関連するモータコントローラから供給され得る。いくつかの例では、2 つのホール効果センサがハウジング 1 3 4 内に配置され、回転子 1 4 8 の周りに互いに 9 0 度離間し、回転子位置を感知して、機器コントローラ 2 8 が回転子の位置を決定し、回転子 1 4 8 のインクリメント回転をカウントできるようにする（1 つのそのようなセンサ S と磁石 M G とを図 1 6 に示す）。いくつかのバージョンでは、ホール効果センサがインクリメントカウントを表すデジタル信号を出力する。様々なタイプのモータとセンサの配置が可能である。いくつかの例では、モータ 1 4 2 はブラシレス D C サーボモータであり、2 つ以上の内部ホール効果センサは、回転子 1 4 8 の周りで互いに 9 0 度、1 2 0 度、または他の任意の適切な間隔で配置され得る。センサ S はまた、回転子 1 4 8 の回転位置を検出し、回転子 1 4 8 の回転をカウントするために使用され得るアブソリュートまたはインクリメンタルエンコーダを備え得る。他のタイプのエンコーダも 1 つまたは複数のセンサとして使用できる。センサは、アクチュエータとその周囲の構成要素の任意の適切な位置に配置でき、ハウジング、ナット、ねじなど、調整時に各アクチュエータの位置を決定するのに適している。さらに別の構成では、センサレスモータ制御を利用することができる。そのような実装において、各回転子の位置は、モータの逆起電力および／またはインダクタンスを測定することに

10

20

30

40

50

よって決定され得る。1つの適切な例は、参照によりその全体が本明細書に組み込まれる米国特許第7,422,582号に見出すことができる。

【0078】

いくつかの例では、ホール効果センサからの出力信号は、機器コントローラ28に送られる。機器コントローラ28は、受信信号のレベルの変更を監視する。これらの信号に基づいて、機器コントローラ28は回転子位置を決定する。回転子位置は、初期位置またはホーム位置からの回転子148の回転角度(degrees of rotation)と見なすことができる。回転子148は、複数の360°回転を実行することができる。したがって、回転子の位置は360度を超える可能性がある。カウントと呼ばれるスカラー値は、ホーム位置からの回転子位置を表す。回転子148は、時計回りおよび反時計回りの両方向に回転する。複数の信号(アナログまたはデジタル)の信号レベルが規定された状態変更を受けるたびに、機器コントローラ28は、カウントをインクリメントまたはデクリメントして、回転子位置の変更を示す。回転子148が完全に360度回転するたびに、機器コントローラ28は、カウントの値を一定のカウント数だけインクリメントまたはデクリメントする。いくつかの例では、カウントは、回転子148の360度回転ごとに100から3,000の間でインクリメントまたはデクリメントされる。いくつかの例では、例えば、インクリメンタルエンコーダが回転子位置を監視するために使用される場合のように、回転子148の360度回転あたり1,024の位置(カウント)が存在する。機器コントローラ28の内部には、各アクチュエータ21、22、23に関連するカウンタがある。カウンタは、インクリメントまたはデクリメントされたカウントの累積数に等しい値を記憶する。カウント値は、正、ゼロ、または負にすることができる。いくつかのバージョンでは、カウント値は、回転子148のインクリメント運動を規定する。したがって、アクチュエータ21、22、23の回転子148は、最初に、それらのホーム位置(以下でさらに説明される)と呼ばれる既知の位置に動かされ、その後、カウント値は、回転子148の現在の位置を規定するために使用される。

【0079】

前述のように、キャリア116は、親ねじ150をねじ込み式に受け入れるために、内部にねじ山付きの貫通穴117を有し、その結果、各親ねじ150は、キャリア116の対応する1つに対して回転して、複数のアクチュエータ21、22、23のうちの対応する1つの有効長を調整することができ、それにより、機器コントローラ28によって測定されるカウントを変化させる。ハウジング134および対応するキャリア116のそれぞれは、親ねじ150がキャリア116に対して回転することを可能にするために、少なくとも1自由度での相対運動が拘束される。より具体的には、親ねじ150は、以下の理由により、キャリア116に対して回転することができる。すなわち、旋回ヨーク106は、関連する能動軸AA1、AA2、AA3の周りを回転することができない(すなわち、旋回ヨーク106は、第1の能動ジョイント92の構成により、そのような回転運動が制限される)、そして、キャリア116は、関連する能動軸AA1、AA2、AA3の周りを回転することができない(すなわち、キャリア116は、第2の能動ジョイント108および第3の能動ジョイント124の構成により、そのような回転運動が制限される)。

【0080】

親ねじ150上に形成されたねじ山ファスナおよび肩などのストップ152は、親ねじ150に固定されている。ストップ152は、各親ねじ150の移動の端でキャリア116に当接するようなサイズになっている。

【0081】

前述のように、アクチュエータ21、22、23は、有効長が能動的に調整可能であり、手持ち部分16に対するツール支持体18の動きを可能にする。この有効長の一例は、図16の第3のアクチュエータ23に「EL」と表示されている。ここで、有効長ELは、関連するキャリア116の中心から関連する第1の能動ジョイント92の中心まで測定される。各アクチュエータ21、22、23が調整されると、親ねじ150が関連するキャリア116にねじ込まれ、または繰り出された距離を変化させ、それにより、関連する

キャリア 116 の中心から関連する第 1 の能動ジョイント 92 の中心までの距離を変更することによって、有効長 E_L が変化する。アクチュエータ 21、22、23 は、有効長 E_L の最小値と最大値との間で調整可能である。各アクチュエータ 21、22、23 の有効長 E_L は、能動軸 AA1、AA2、AA3 に沿ったツール支持体 18 と手持ち部分 16 との間の距離を示すために任意の適切な方法で表され／測定され得、それは、手持ち部分 16 に対してツール支持体 18 の様々な動きを引き起こすように変化する。

【0082】

拘束アセンブリ 24 は、アクチュエータ 21、22、23 と協調して動作して、アクチュエータ 21、22、23 によって提供される動きを拘束する。アクチュエータ 21、22、23 は 3 自由度での動きを提供し、一方、拘束アセンブリ 24 は、3 自由度での動きを拘束する。示されているバージョンでは、拘束アセンブリ 24 は、受動リンケージ 26 と、受動リンケージ 26 をツール支持体 18 に結合する受動リンケージジョイント 156 とを含む。

【0083】

1 つのバージョンでは、図 14 および 16 に示されるように、受動リンケージジョイント 156 は、受動リンケージ U ジョイントを備える。U ジョイントは、第 1 の旋回ピン 158 およびジョイントブロック 160 を備える。第 1 の旋回ピン 158 は、ジョイントブロック 160 の貫通穴 164 を介して、ジョイントブロック 160 をツール支持本体 80 の受動リンケージマウント 162 に旋回可能に接続する。止めねじ 166 は、第 1 の旋回ピン 158 を受動リンケージマウント 162 に固定することができる。U ジョイントはまた、第 2 の旋回ピン 170 を備える。ジョイントブロック 160 は、第 2 の旋回ピン 170 を受け入れるためのクロス穴 168 を有する。第 2 の旋回ピン 170 は、受動リンケージ 26 の受動リンケージ旋回ヨーク 172 をジョイントブロック 160 に旋回可能に接続する。第 2 の旋回ピン 170 は、第 1 の旋回ピン 158、ジョイントブロック 160、および第 2 の旋回ピン 170 が U ジョイントのクロスを形成するように、第 1 の旋回ピン 158 を受け入れる貫通穴 171 を有する。第 1 の旋回ピン 158 および第 2 の旋回ピン 170 は、交差する旋回軸 PA を規定する（図 16 を参照）。結果として、受動リンケージ 26 は、ツール支持本体 80 に対して 2 自由度で移動可能となる。ピンを受け入れるスロットを備えたボールを含む受動リンケージ球形ジョイント 107 などの他のタイプの受動リンケージジョイントも企図される（例えば、図 20 および 21 を参照）。

【0084】

受動リンケージ 26 は、受動リンケージ旋回ヨーク 172 に固定されたシャフト 174 を備える。受動リンケージ 26 はまた、拘束軸 CA に沿ってシャフト 174 を受け入れるように構成されたベース 74 のスリーブ 76 を備える。受動リンケージ 26 は、シャフト 174 がスリーブ 74 に対して拘束軸 CA に沿って軸方向に摺動し、1 つまたは複数のアクチュエータ 21、22、23 の作動中に拘束軸 CA に対して半径方向にシャフト 174 の動きを拘束することを可能にするように構成される。

【0085】

受動リンケージ 26 は、拘束軸 CA の周りのスリーブ 76 に対するシャフト 174 の回転を拘束するためのキー 176 をさらに備える。キー 176 は、図 16 に最もよく示されている。キー 176 は、シャフト 174 およびスリーブ 76 内の対向するキー溝 178、180 に適合し、シャフト 174 をスリーブ 76 に回転的にロックする。一体型キー／スロット配置などのように、シャフト 174 およびスリーブ 76 の相対回転を防止するための他の配置も企図される。受動リンケージ 26 は、アクチュエータ 21、22、23 とは独立して、ツール支持体 18 と手持ち部分 16 とを動作可能に相互接続する。受動リンケージは、アクチュエータ 21、22、23 のうちの 1 つまたは複数の作動中に、拘束軸 CA に沿って有効長 E_L で受動的に調整可能である。スリーブ 76、シャフト 174、およびキー 176 は、受動リンケージ 26 のためのリンクの 1 つの組み合わせを表す。任意の適切な方法で接続された他のサイズ、形状、および多くのリンクを、受動リンケージ 26 に使用することができる。

【0086】

示されているバージョンでは、受動リンケージジョイント156は、ツール支持体18に対して2つの回転軸PAを中心に回転することができる。他の構成も可能である。

【0087】

また、示されているバージョンでは、第1の能動ジョイント92および受動リンケージジョイント156は、共通平面CP上に配置された回転軸PAを規定している（図9および11を参照）。非平行回転軸PA、異なる平面上に配置された平行回転軸PA、それらの組み合わせ、および／または他の構成もまた企図される。

【0088】

いくつかのバージョンでは、ツール支持体18のヘッド84は、ツール20がツール支持体18に結合されたときに、ツール20が共通平面CPに平行なツール平面TP（例えば、刃平面）上に配置されるように構成される（図9および11を参照）。いくつかの例では、ツール平面TPは、共通平面CPから2.0インチ以下、1.0インチ以下、0.8インチ以下、または0.5インチ以下離れている。

【0089】

図10、14、および16を参照すると、拘束軸CAおよび第3の能動軸AA3は、アクチュエータ21、22、23の作動全体を通して、垂直中心面VCPに沿って同一平面上に配置され得る。拘束軸CAおよび第3の能動軸AA3が同一平面上にないものを含む、他の構成もまた企図される。

【0090】

示されているバージョンでは、アクチュエータ21、22、23は、ホーム位置にいるときも含むアクチュエータ21、22、23のすべての位置において、能動軸AA1、AA2、AA3が拘束軸CAに対して傾斜した構成になるように配置される。軸AA1、AA2、AA3を傾斜させることは、一般に、アクチュエータ配置を先細にし、よりスリムでよりコンパクトなベース74および関連するグリップ72を可能にする。能動軸AA1、AA2、AA3が拘束軸CAに対して傾斜した構成にないものを含む、他の構成が企図される。このような構成には、アクチュエータ軸AA1、AA2、AA3がホーム位置で互いに平行である構成が含まれ得る。

【0091】

アクチュエータ、能動ジョイント、および拘束アセンブリのさらなる構成が可能である。いくつかのバージョンでは、拘束アセンブリが存在しない場合があり、機器14のツール支持体18は、手持ち部分16に対して追加の自由度で動かすことができる場合がある。さらに、上記のように、以下に説明するアクチュエータアセンブリを使用することができる。

【0092】

仮想境界

機器14の動作を制御するために制御システム60によって使用されるソフトウェアは、境界発生器182を含む（図7を参照）。境界発生器182は、機器コントローラ28、ナビゲーションコントローラ36、および／または別個のコントローラなどの他の構成要素に実装され得る。境界発生器182はまた、機器14から遠隔操作する別個のシステムの一部であり得る。図22を参照すると、境界発生器182は、機器14の動きおよび／または動作を制限するための1つまたは複数の仮想境界184を生成するソフトウェアプログラムまたはモジュールである。いくつかの例では、境界発生器182は、仮想切断ガイド（例えば、仮想鋸切断ガイド）を規定する仮想境界184を提供する。仮想境界184はまた、以下に説明されるように、様々な動作／制御領域を描写するために提供され得る。仮想境界184は、1次元（1D）、2次元（2D）、3次元（3D）であり、点、線、軸、軌道、平面（無限平面または解剖学的構造または他の境界により囲まれる平面セグメント）、体積または複雑な幾何学的形状を含む他の形状を含み得る。仮想境界184は、ピクセル、点群、ボクセル、三角形メッシュ、他の2Dまたは3Dモデル、それらの組み合わせなどによって表すことができる。米国特許出願公開第2018/03332

10

20

30

40

50

07号および米国特許第8,898,043号は参照により組み込まれ、それらの特徴のいずれかを使用して、外科的処置の計画または実行を容易にすることができる。

【0093】

仮想境界184は、様々な方法で使用することができる。例えば、制御システム60は、以下を行うことができる。すなわち、境界内に留まるようにツール20の特定の動きを制御し、境界の外側に留まるようにツール20の特定の動きを制御し、ツール20の特定の動きを制御して、境界に留まるようにし（例えば、点、軌道、および／または平面に留まる）、境界に近づく（魅力的な境界）か、境界からはじかれる（反発する境界）ようにツール20の特定の動きを制御し、および／または境界に対する機器14の関係（例えば、空間、速度など）に基づいて、機器14の特定の動作／機能を制御する。境界184の他の使用もまた企図される。

10

【0094】

いくつかの例では、仮想境界184の1つは、図22に示されるように、所望の切断面である。制御システム60は、最終的に、いくつかのバージョンでは、ツール20を所望の切断面上に維持するように機能するであろう。ツール20の位置決めを制御する仮想境界184はまた、体積境界であってもよく、例えば、図2に示されるように、鋸刃が境界内にあり、所望の切断面上に留まるように拘束するために、刃の厚さよりわずかに厚い厚さを有するものなどである。したがって、所望の切断面は、仮想平面境界、仮想体積境界、または他の形態の仮想境界によって規定することができる。仮想境界184は、仮想物体と呼ばれることもある。仮想境界184は、3D骨モデルなどの解剖学的モデルAMに関して規定され得る（解剖学的モデルAMがそれらの登録のために実際の大腿骨F上に仮想的にオーバーレイされることを示す図22を参照）。言い換えれば、仮想境界184に関連する点、線、軸、軌道、平面、体積などは、解剖学的モデルAMの座標系に対して固定された座標系で規定され得るため、解剖学的モデルAMの追跡（例えば、それが登録されている関連する解剖学的構造の追跡を介して）はまた、仮想境界184の追跡を可能にする。

20

【0095】

解剖学的モデルAMは、仮想境界184が解剖学的モデルAMおよび関連する座標系に関連付けられるように、第1の患者トラッカー54に登録される。仮想境界184は、例えば、インプラントのサイズ、形状、体積などに基づいて規定されたインプラント固有、および／または、例えば、患者の解剖学的構造に基づいて規定された患者固有とすることができる。仮想境界184は、術前、術中、またはそれらの組み合わせで作成される境界であり得る。言い換えれば、仮想境界184は、外科的処置が始まる前、外科的処置中（組織除去中を含む）、またはそれらの組み合わせで規定され得る。仮想境界184は、それらを作成する制御システム60、他のソース／システムからそれらを受信することなどによって、多くの方法で提供され得る。仮想境界184は、検索および／または更新のためにメモリに記憶され得る。

30

【0096】

全人工膝関節IMを受け入れるために大腿骨Fを準備する場合（図1を参照）などのいくつかの場合、仮想境界184は、全人工膝関節IMのための複数の切断面（例えば、5つの切断面）を描くために使用できる複数の平面境界を含み、大腿骨Fの遠位端の3Dモデルに関連付けられる。これらの複数の仮想境界184は、制御システム60によって一度に1つずつ起動されて、切断を一度に1つの平面に拘束することができる。

40

【0097】

機器コントローラ28および／またはナビゲーションコントローラ36は、仮想境界184に対するツール20の状態を追跡する。一例では、TCP座標系の状態（例えば、鋸刃の姿勢）は、アクチュエータ21、22、23のターゲット位置を決定する目的で、仮想境界184に対して測定され、これにより、ツール20は、所望の状態を維持する。場合によっては、制御システム60は、物理的な境界／障壁の存在下での物理的なハンドピースの応答の仕方をエミュレートする方法で機器14を制御／位置決めする。

50

【0098】

図7に戻ると、2つの追加のソフトウェアプログラムまたはモジュールが、機器コントローラ28および／またはナビゲーションコントローラ36上で実行される。1つのソフトウェアモジュールが挙動制御186を実行する。挙動制御186は、ツール20の次の命令／所望の位置および／または方向（例えば、所望の姿勢）を示すデータを計算するプロセスである。場合によっては、TCPの所望の位置のみが挙動制御186から出力され、一方、場合によっては、ツール20の命令姿勢が出力される。境界発生器182からの出力（例えば、1つまたは複数の座標系における仮想境界184の現在の位置および／または方向）は、挙動制御186への入力として供給して、アクチュエータ21、22、23の次の命令位置および／またはツール20の方向を決定することができる。挙動制御186は、この入力を、以下でさらに説明する1つまたは複数の他の入力とともに処理して、命令姿勢を決定することができる。

10

【0099】

機器コントローラ28は、命令信号を各アクチュエータ21、22、23に送信してツール20を所望の姿勢に向けて調整することによって、1つまたは複数のアクチュエータ21、22、23を制御することができる。機器コントローラ28は、アクチュエータ21、22、23が手持ち部分16に対してツール支持体18を調整することができる全長を知ることができる。いくつかの例では、機器コントローラ28は、アクチュエータ21、22、23が調整できる全長を知っており、命令信号をアクチュエータ21、22、23に送信して、位置から位置まで測定された距離を動かすことができる。測定位置は、既知の位置、またはアクチュエータ21、22、23の現在の位置とアクチュエータの制限との間の距離であり得る。アクチュエータ21、22、23が動く各位置は、アクチュエータの移動の正の制限および負の制限からの測定された距離であり得る（すなわち、親ねじの両端の間の位置）。機器コントローラ28は、以下に説明するように、アクチュエータ21、22、23を測定位置から測定位置まで命令することができる。

20

【0100】

機器コントローラ28は、命令信号を各アクチュエータ21、22、23に送信して、アクチュエータ21、22、23を第1の位置から命令位置に動かすことができ、ツール20を所望の姿勢に配置する。いくつかの例では、命令位置は、ナビゲーションシステム32と連動して機器コントローラ28によって決定され、手持ち部分16、患者トラッカーPT、54、56、所望の切断面またはそれらの組み合わせなどの仮想物体に対するツール20およびツール支持体18の位置を決定し、アクチュエータ21、22、23に信号を送信して、ツール20を所望の姿勢に配置するために、特定の距離または命令位置を調整し得る。機器コントローラは、ツール20の所望の調整状態に到達するために、アクチュエータ21、22、23をある位置に命令することができる。機器コントローラ28は、アクチュエータ21、22、23を制御して、計算された距離を直線的に動かし、ツール20を所望の姿勢に向けて調整することができる。アブソリュートエンコーダが使用される場合などの他の例では、機器コントローラは、アクチュエータ21、22、23に信号を送信して、各アクチュエータ21、22、23を、アブソリュートエンコーダによって決定された手持ち部分に対するツール支持体18の既知の位置に基づいて命令位置に配置することができる。以前に命令された位置は、アクチュエータ21、22、23がアクチュエータ21、22、23の現在の位置の前に調整された位置であり得る。いくつかの例では、以前に命令された位置は、ツール20を所望の姿勢に向けて調整するためにアクチュエータ21、22、23が命令された位置であり得る。

30

40

【0101】

いくつかの例では、アクチュエータ21、22、23の1つまたは複数の制限に達したとき、機器コントローラ28は、アクチュエータがツール20を所望の姿勢に向けて調整することができる範囲にツール20を戻すために、手持ち部分16を調整することを要求し得る。そのような場合、シミュレートされた命令位置を使用して、ツール20およびアクチュエータ21、22、23を所望の姿勢に整列するように戻すために、手持ち部分1

50

6をどのように動かすかをユーザに示すことができる。シミュレートされた命令位置は、ナビゲーションシステム32からのナビゲーションデータと併せて機器コントローラ28によって決定される位置であってもよく、これは、アクチュエータ21、22、23を調整せずにツール20を所望の姿勢に向けて調整するために手持ち部分16を動かさなければならないものである。シミュレートされた命令位置は、ガイダンスアレイ200、インジケータ201、202、203、またはその両方と連動して、ツール20を所望の姿勢に配置するために手持ち部分16を特定の方法で動かす必要があることをユーザに合図する。いくつかの例では、ガイダンスアレイ200、インジケータ201、202、203、またはその両方は、アクチュエータ21、22、23がツール20を調整した場合と同じ方法で手持ち部分16を動かすようにユーザに合図を送るが、アクチュエータは所定の位置に留まっており、手持ち部分16を操作することによってツール20の姿勢を修正することをユーザに依存している。

10

【0102】

第2のソフトウェアモジュールは、運動制御188を実行する。運動制御188の一態様は、機器14の制御である。運動制御188は、挙動制御186から次の命令姿勢を規定するデータを受け取る。これらのデータに基づいて、運動制御188は、各アクチュエータ21、22、23の回転子148の次の回転子位置を決定し（例えば、逆運動学を介して）、その結果、機器14は、例えば、命令姿勢で、挙動制御186によって命令されるようにツール20を位置決めすることができる。言い換えれば、運動制御188は、デカルト空間で規定され得る命令姿勢を機器14のアクチュエータ位置（回転子位置など）に処理し、その結果、機器コントローラ28は、それに応じてモータ142に命令して、機器14のアクチュエータ21、22、23を、ツール20の命令された姿勢に対応する命令された回転子位置などの命令位置に動かすことができる。一つのバージョンでは、運動制御188は、各モータ142の回転子位置を調整し、各モータ142が出力するトルクを継続的に調整し、可能な限り密接に、モータ142が関連するアクチュエータ21、22、23を命令された回転子位置に駆動することを確実にする。

20

【0103】

いくつかのバージョンでは、機器コントローラ28は、各アクチュエータ21、22、23について、回転子148の測定位置と命令位置との間の差を決定する。機器コントローラ28は、ターゲット電流（回転子のトルクに比例する）を出力し、電圧を変更させて、アクチュエータの電流を初期電流からターゲット電流に調整する。ターゲット電流は、アクチュエータ21、22、23の動きをもたらし、ツール20を測定された姿勢から命令された姿勢に動かす。これは、命令された姿勢がジョイント位置に変換された後に起こり得る。一例では、各回転子148の測定位置は、エンコーダなどの上記のセンサSから導き出すことができる。

30

【0104】

境界発生器182、挙動制御186、および運動制御188は、ソフトウェアプログラムのサブセットであり得る。あるいは、それぞれは、別々におよび／またはそれらの任意の組み合わせで独立して動作するソフトウェアプログラムであり得る。「ソフトウェアプログラム」という用語は、本明細書では、説明された技術的解決策の様々な機能を実行するように構成されたコンピュータ実行可能指示を説明するために使用される。簡単にするために、「ソフトウェアプログラム」という用語は、少なくとも、境界発生器182、挙動制御186、および／または運動制御188のうちの任意の1つまたは複数を包含することを意図している。ソフトウェアプログラムは、機器コントローラ28、ナビゲーションコントローラ36、またはそれらの任意の組み合わせで実装することができ、または制御システム60によって任意の適切な方法で実装することができる。

40

【0105】

臨床アプリケーション190は、ユーザの相互作用を処理するために提供され得る。臨床アプリケーション190は、ユーザの相互作用の多くの側面を処理し、術前計画、インプラント配置、登録、骨準備の視覚化、および移植適合の術後評価などを含む、外科的ワ

50

ークフローを調整する。臨床アプリケーション 190 は、ディスプレイ 38 に出力するように構成される。臨床アプリケーション 190 は、それ自体の別個のプロセッサ上で実行することができ、または機器コントローラ 28 および／またはナビゲーションコントローラ 36 と一緒に実行することができる。一例では、臨床アプリケーション 190 は、インプラント配置がユーザによって設定された後、境界発生器 182 とインターフェースし、次に、境界発生器 182 によって返された仮想境界 184 を実行のために機器コントローラ 28 に送る。

【0106】

ホームイング

解剖学的構造を治療する前に（例えば、大腿骨 F および／または脛骨 T を切断する前に）、および以下に説明する特定の動作モード中に、ホームイング手順を実行することができ、これは、アクチュエータ 21、22、23 をそれぞれのホーム位置に配置することによって、ツール 20 のホーム位置を確立する。このプロセスは、制御システム 60 が回転子 148 の現在の位置を決定することができるように、センサ S によって測定された回転子 148 のインクリメント運動をカウントするための基準位置を提供するために使用される。いくつかのバージョンでは、センサ S が回転子 148 の絶対位置を測定することができる場合、ホームイングは必要ない場合がある。事実上、ホームイングプロセスは、アクチュエータ 21、22、23 の初期回転子位置（ゼロ位置）を確立する。ホーム位置は、事実上、能動軸 AA1、AA2、AA3 に沿って各方向に可能な限り最大の移動を提供する回転子 148 の位置である。いくつかの例では、ホーム位置は、概して、ストップ 152 間の中間に中央に配置された親ねじ 150 のホーム点 HP が、関連するキャリア 116 に中央に配置されるように位置決めされる（ホーム位置にある 2 つのアクチュエータ 22、23 を示す図 16 を参照されたい）。アブソリュートエンコーダのようにホームイング手順を使用しない場合でも、他のモード（以下でさらに説明するアプローチモードなど）を実行する前または後に、アクチュエータ 21、22、23 をホーム点 HP に設定することが含まれ得る。機器コントローラ 28 は、アクチュエータ 21、22、23 を、アクチュエータ 21、22、23 の有効長 EL の最小値と最大値との間のそれらのホーム位置に制御するように構成され得る。

【0107】

ホーム位置にあるとき、アクチュエータ 21、22、23 の調整可能な量は、ツール 20 を所望の姿勢に保つために最大化される。機器 14 の特定の形状および構成に応じて、様々なレベルの調整が可能である。いくつかの例では、すべてのアクチュエータ 21、22、23 がそれらのホーム位置にあるとき、ツール 20 は、ロール方向の変更がゼロであり、z 軸並進がないと仮定して、ホーム位置に対して約 $+/-18^\circ$ のピッチ方向に調整され得る。いくつかの例では、すべてのアクチュエータ 21、22、23 がそれらのホーム位置にあるとき、ツール 20 は、ピッチ方向の変更がゼロであり、z 軸並進がないと仮定して、ホーム位置に対して約 $+/-33^\circ$ のロール方向に調整され得る。いくつかの例では、すべてのアクチュエータ 21、22、23 がそれらのホーム位置にあるとき、ツール 20 は、ピッチ方向およびロール方向の変更がゼロであると仮定して、ホーム位置に対して約 $+/-0.37$ インチの z 軸並進で調整され得る。もちろん、ツール 20 は、動作中に、ピッチ、ロール、および z 軸の並進を同時に、連続して、またはそれらの組み合わせで調整することができる。

【0108】

各アクチュエータ 21、22、23 のホームイング手順は、連続して、同時に、または任意の所望の順序で実行することができる。場合によっては、ホームイング手順中に、機器コントローラ 28 が各モータ 142 を作動させる。モータ 142 は、関連する親ねじ 150 を回転させるように作動され、ストップ 152 がキャリア 116 に接触するまで、関連する能動軸 AA1、AA2、AA3 に沿って各軸方向に親ねじ 150 と関連するキャリア 116 との間に相対的な軸方向変位を引き起こす。そのような接触は、追加のセンサ S によって、モータ 142 への電流を監視することによって（例えば、閾値を超える電流のスパ

10

20

30

40

50

イクは、ストップ152に到達したことを示す) などによって決定することができる。例えば、モータ142は、ストップ152の1つがキャリア116に係合するまで親ねじ150を作動させることができ、その時点で、累積カウントおよび関連する端回転子位置が記憶される。回転子位置を表す累積カウントを記憶するカウンタは、第1のストップ152に到達したときにゼロに設定することもできるが、必須ではない。次に、モータ142は、他のストップ152がキャリア116に係合するまで、親ねじ150を反対方向に作動させることができる。この期間中、機器コントローラ28は、センサSからの信号を監視して、他端回転子位置に到達するまで回転子148の回転をカウントする。機器コントローラ28は、ストップ152間の親ねじ150（例えば、そのシャフトの）の総回転角度を表すカウンタ内のカウントを維持する。ホーム位置は、それらのカウントの平均、またはストップ152間の平均回転子位置である。

10

【0109】

いくつかの例では、機器コントローラ28は、回転子の端位置間（例えば、移動制限間）で親ねじ150を変位させるのに必要な回転子148の回転を表す累積カウントをデータとして記憶する。これら2つのカウントの絶対差が計算される。この差は2で割られる。この値は、キャリア116内のホーム点HPをホーム位置に中心決めするために、回転子148が現在位置から回転しなければならないカウントの数を表す。例えば、このプロセスにおいて、機器コントローラ28は、以下の指示を受け取ることができる。回転子の一端位置において、カウント値は2500であった。も回転子の他端位置では、カウント値は-1480であった。これらのカウント値の差は3980である。この差の半分は1990である。したがって、回転子の端位置間の平均カウント値は、 $-1480 + 1990 = 510$ として計算できる。この数はターゲット位置と呼ばれる。ホーミングプロセス中、このターゲット位置は、ホーム位置を表す累積カウントに等しい正または負の数である。次に、機器コントローラ28は、モータ142に通電信号を印加して、回転子148を、ホーム位置を表すこのカウントに向かって回転させる。

20

【0110】

結果として生じる回転子148の回転中に、センサSの値の変化は、カウンタに記憶されたカウント値を変更させるカウントの出力をもたらす。このステップの間、機器コントローラ28は、カウンタに記憶された累積カウントを、ホーム位置によって表されるカウントと比較する。これらの2つの値が等しい場合、機器コントローラ28は、モータ142への通電信号の印加を終了する。機器コントローラ28はまた、ホーム位置でカウンタをゼロに設定することができる。回転子148、ひいては親ねじ150のこの回転は、キャリア116に対する親ねじ150の、能動軸AA1、AA2、AA3に沿ったホーム位置への変位をもたらすことを理解されたい。アクチュエータ21、22、23がそれらのホーム位置にあると、ストップ152（例えば、ハードストップ）が移動の極限でキャリア116に接触するのを防ぐために、ソフトストップを有効にすることができる。ソフトストップは、ホーミング手順中に測定された移動の極限をわずかに下回るカウント値に設定されたソフトウェア対応のストップであり得る。ソフトストップは、ソフトウェアに事前にプログラムされた値であり得る。ソフトストップは、カウント値と事前にプログラムされた値の組み合わせであり得る。

30

【0111】

図16に示されるように、アクチュエータ21、22、23のそれぞれは、有効長ELを有する。ホーム位置での有効長ELは、任意の適切な長さにすることができる。いくつかの例では、ホーム位置での有効長ELは約2.14インチであり、ハードストップ152に係合するときの有効長ELの最小／最大値は、それぞれ約1.72インチおよび2.56インチである。ソフトストップを使用する場合、有効長ELの最小値／最大値はそれぞれ約1.78インチと2.50インチになり得る。これらの値は単なる例であり、他の値が企図されていることを理解されたい。

40

【0112】

いくつかの例では、キャリア116に向かって回転子148の変位をもたらす回転子1

50

48の回転に関連する各インクリメントカウントは、正のインクリメントカウントであり、キャリア116から離れる回転子148の変位をもたらす回転子148の回転に関連する各インクリメントカウントは、負のインクリメントカウントである。したがって、機器コントローラ28は、回転子の位置を表す累積カウントデータを提供することができる。

【0113】

ベース座標系BCSの初期位置は、アクチュエータ21、22、23がそれらのホーム位置または他の所定の位置にあるときのツール支持体座標系TCSとベース座標系BCSとの間の既知の幾何学的関係に基づいて決定することができる。この関係は、アクチュエータ21、22、23が調整されると変化し、関連する変化は、ロボットシステム10の運動学に基づいて決定することができる（例えば、これらの座標系間の動的変換を確立する）。代替的に、または追加的に、別のトラッカーを、ベース座標系BCSに関して取り付けて固定し、ツール支持体座標系TCSに対してベース座標系BCSの姿勢を直接追跡することができる。したがって、ロボットシステム10は、ホーム位置などのツール20の位置、および手持ち部分16の姿勢との関係を知っている。したがって、ツール20がユーザによって動かされ、その姿勢がツールトラッカー52を使用して追跡されるとき、ロボットシステム10はまた、手持ち部分16の姿勢およびそのベース座標系BCSも追跡する。いくつかの例では、事前の較正プロセスの結果として、ツール支持体18に対するツール20の位置が既知であると想定される。

【0114】

いくつかのバージョンでは、ホーム位置は、最初に、手持ち部分16に固定された別個のトラッカーを使用することによって、共通の座標系におけるツール支持体18（例えば、ツール支持体座標系TCSに関連して）に対する手持ち部分16（例えば、ベース座標系BCSの）の姿勢を決定することによって決定される（図60を参照）。手持ち部分16とツール支持体18との間のこの空間的関係は、ポインタ57および手持ち部分16上の既知の較正ディボットを使用する登録によって、または他のナビゲーション方法を介して決定することもできる。次に、アクチュエータ21、22、23のそれぞれの現在の回転子位置は、機器14の運動学に基づいて、この空間的関係から導き出すことができる。現在の回転子位置を知り、エンコーダ（および対応するエンコーダ信号）を使用して現在の回転子位置からの変位を測定することにより、機器コントローラ28は、その後、それらがホーム位置に到達するまで、アクチュエータ21、22、23のそれぞれを動作

【0115】

本質的に、機器コントローラ28は、機器14上のツール支持体18および手持ち部分16に結合されたトラッカー52からナビゲーションシステム32によって得られた追跡データを使用して、アクチュエータ21、22の位置を決定する。その後、インクリメンタルエンコーダがアブソリュートエンコーダとして動作できるようになる。

【0116】

登録、較正、およびホーミング（使用される場合）が完了すると、ナビゲーションシステム32は、解剖学的構造（例えば、大腿骨Fまたは他のターゲット組織に関して）および1つまたは複数の仮想境界184に関してツール20の空間姿勢を決定することができる。したがって、機器14は、解剖学的構造の境界に制約された治療の準備ができています（例えば、機器14は、大腿骨Fからターゲット体積の材料を切断する準備ができています）。上で規定されたホーミング手順が使用されない場合でも（例えば、アブソリュートエンコーダ）、アクチュエータ21、22、23は、アプローチモードなどの他の動作モードを実行する前または後に、ホーム位置に依然として設定され得る。

【0117】

ホーミングプロセスの後、制御は、ナビゲーションコントローラ36からの位置および／または方向データ、ならびに機器コントローラ28からの累積カウントデータまたはアクチュエータの他の位置データに基づく。制御は、トリガーやフットスイッチなどの他の

入力装置などのユーザ入力に基づくこともできる。いくつかの例では、機器 28 は、以下でさらに説明するように、治療される解剖学的構造に対するツール 20 の姿勢に基づいて自動的に動作することができる。

【0118】

機器 14 の制御は、データ接続を介してナビゲーションコントローラ 36 から機器コントローラ 28 に送信される、解剖学的構造（例えば、大腿骨 F）および機器 14 の最新の位置および／または方向を考慮に入れる。これらのデータを使用して、機器コントローラ 28 は、所望の座標系における仮想境界 184 の位置（すなわち、位置および／または方向）を決定する。仮想境界 184 に対するツール 20（例えば、TCP）の相対位置も計算される。機器コントローラ 28 は、ツール 20 が適用される解剖学的構造に対するツール 20 の位置および／または方向でナビゲーションシステム 32（ディスプレイ 38 を含む）を更新する。仮想境界 184 の位置の表示も提示され得る。

【0119】

仮想境界 184 に対するツール 20 の相対位置は、機器コントローラ 28 によって評価され、アクションを実行する必要があるかどうかつまり、ツール 20 を動かし、ツール 20 の速度（振動速度など）を変更し、ツール 20 の動作を停止するかを判断する。指示データパケットは、例えば、コンソール 33 または機器コントローラ 28 の他の構成要素などから、モータコントローラに送信される。これらの指示データパケットには、モータ 142 の回転子 148 のターゲット位置（またはアクチュエータのターゲット位置）が含まれる。ここで、各ターゲット位置は、関連する回転子 148 のターゲット累積カウントを表す正または負の数であり得る。機器コントローラ 28 のコンソール 33 または他の構成要素は、これらの指示データパケットを生成し、0.05 から 4 ミリ秒ごとに 1 つのパケットの速度で各モータコントローラに送信する。いくつかの例では、各モータコントローラは、少なくとも 0.125 ミリ秒に 1 回、指示データパケットを受信する。機器コントローラ 28 はまた、仮想境界 184 のうちの 1 つまたは複数に対するツール 20 の相対位置に基づいて、機器 14 の切断速度を選択的に調整することができる。例えば、ツール 20 の振動および対応する切断を制御する駆動モータ M は、ツール 20 が仮想境界 184 に対して望ましくない関係にあるときはいつでも、例えば、ツール 20 が閾値を超えてターゲット面から離れているときはいつでも、機器コントローラ 28 によって無効にされ得る。

【0120】

使用中、ロボットシステム 10 が、ツール支持体 18 上に配置されたトラッカー 52 によって、ナビゲーションシステム 32 を備えたツール 20 の姿勢（現在の姿勢）を決定するとき、機器コントローラ 28 はまた、アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれに配置された 1 つまたは複数のエンコーダからの出力エンコーダ信号に基づいて、アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれの現在の位置を決定することができる。アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれの現在の位置を受け取ると、機器コントローラ 28 は、手持ち部分 16 の現在の姿勢を計算することができる（例えば、順運動学を使用してアクチュエータの位置から姿勢に変換する TCP 座標系（BCS に関する TCP）などの所望の座標系に対するベース座標系 BCS の現在の姿勢）。機器コントローラ 28 が、所望の座標系におけるツール支持体 18 および手持ち部分 16 の現在の相対姿勢を有すると、次に、機器コントローラ 28 は、ナビゲーションシステム 32 によって決定されたツール 20 の現在の姿勢、アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれの現在の位置によって計算された手持ち部分 16 の現在の姿勢に基づいて、所望の切断面として対象となる、計画された仮想物体の位置および／または方向に基づいて、ツール 20 の命令姿勢を決定することができる。機器は、BCS に関して TCP の姿勢（命令された姿勢）を計算する。これにより、TCP は所望の平面上に配置されるか、または計画された仮想物体と整列される。機器コントローラ 28 は、命令指示をアクチュエータ 21、22、23 に送信して、命令位置に動かし、それにより、ツール支持体 18 およびツール 20 の姿勢を変更することができる。一例では、ツール 20 の命令姿勢はさらにターゲット切断面に基づいているので、機器コントローラ 28 は、ツール支持体 18 の現在の姿勢およびアクチュエータ 21、22

、23の現在の位置を計算して、手持ち部分16の現在の姿勢を決定する。ツール支持体18の現在の姿勢、アクチュエータ21、22、23の現在の位置、および手持ち部分16の現在の姿勢がわかると、機器コントローラ28は、アクチュエータ21、22、23に命令信号を送り、所望の平面に基づいてツール支持体18およびツール20を調整する。コントローラは、瞬間的に（1回の反復中に）手持ち部分（BCS）の姿勢が患者の解剖学的構造に対して静止していると仮定して、命令姿勢を計算する。対応する姿勢を毎回更新することで、BCSの実際の動きを調整する。

【0121】

図64に目を向けると、例示的な制御が、様々な変換に関して説明されている。TCPは、LCLZ（LCLZ-TT）のトラッカー52でツール20を追跡し、登録データを使用して、ツールトラッカー52と、鋸などのツール20のTCP（TT-TCP）との間の変換を決定することによって決定される。同様に、患者は、LCLZ（LCLZ-PT）の患者トラッカーPT（54として表示）を使用して追跡される。変換（PT-TP）は、登録データおよび計画情報を使用して、患者トラッカーPTと各計画された仮想物体184（TP）との間で決定される。上記のように、BCSとTCPの間の変換（BCS-TCP）は、各アクチュエータ（上記）の現在の位置に基づいて計算される。BCSとTCPとの間の変換は、命令された姿勢がBCSに対して決定され得るので、様々な座標系を手持ち部分16に関連付けるために利用される。概念的には、命令姿勢は、BCSからTCPへの変換の更新であり、その結果、この例では、TCPが計画された仮想物体184（ターゲット面TP）と整列される。

【0122】

この説明全体を通して、特に断りのない限り、姿勢の任意のインスタンスは、命令姿勢、現在の姿勢、過去の姿勢、または過去の命令姿勢であり得る。これらの姿勢のそれぞれは互いに異なる可能性があるが、制御の頻度により、これらの姿勢間の位置および／または方向の違いは、各制御の反復で最小になる可能性がある。

【0123】

物体の位置および方向の組み合わせは、物体の姿勢と呼ばれることを理解されたい。本開示を通して、本明細書に記載の概念の適切な代替案を達成するために、姿勢という用語を位置および／または方向に置き換えることができ、その逆も可能であると考えられる。言い換えると、姿勢という用語の使用は位置に置き換えることができ、位置という用語の使用は姿勢に置き換えることができる。

【0124】

視覚的ガイダンス

図22に示されるように、ガイダンスアレイ200は、ツール支持体18に結合され得る。追加的に、または代替的に、ガイダンスアレイ200は、図65に見られるように手持ち部分16、または機器14の他の部分に取り付けられ得る。示されるバージョンでは、ガイダンスアレイ200は、少なくとも第1の視覚的インジケータ201、第2の視覚的インジケータ202、および第3の視覚的インジケータ203を備える。視覚的インジケータ201、202、203のそれぞれは、機器コントローラ28に結合された1つまたは複数の照明源を含む。いくつかのバージョンでは、照明源は、1つまたは複数の発光ダイオード（例えば、RGB LED）を含み、これは、異なる状態、例えば、オン、オフ、異なる周波数で、異なる強度、異なる色で照射された点滅／明滅、それらの組み合わせなどで動作され得る。図22に示されるバージョンでは、視覚的インジケータ201、202、203のそれぞれは、上部および下部204、206（上部セグメント204、下部セグメント206）を含む。さらに、視覚的インジケータ201、202、203のそれぞれは、2つの部分204、206より多い部分、例えば、3つ以上、4つ以上、またはさらに10以上の部分に分割され得ることが企図される。例えば、視覚的インジケータ201、202、203のそれぞれは、3つの部分に分割され得、各部分は、1つまたは複数のLEDを含む。視覚的インジケータ201、202、203は、概して球形であり得、上部および下部204、206は、必要に応じて別々に制御／照明され得る半球形

、透明または半透明のドームを含む。視覚的インジケータ 201、202、203 は、円柱、リング、正方形、多角形、または視覚的合図をユーザに伝えることができる任意の他の形状などの球以外の形状を有し得ることが企図される。1 つまたは複数の発光ダイオードを各ドームに関連付けることができる。視覚的インジケータ 201、202、203 は、1 つまたは複数の取り付けブラケット 205 を介して、ツール支持体 18 または手持ち部分 16 に固定することができる。

【0125】

ガイダンスアレイが使用されないいくつかの例では、視覚的インジケータ 201、202、203 は、ツール支持体 18 または手持ち部分 16 に取り付けられた LCD、または LED ディスプレイ上の別個の領域などの、ディスプレイ画面の別個の部分（図 66 を参照）を含み得る（例えば、図 66）。ディスプレイ画面は、ディスプレイ画面を機器に取り付けるのに加えて、またはその代わりに、ナビゲーションシステムの一部として含めることもできる。

10

【0126】

いくつかの構成では、ディスプレイ画面が 1 つ、2 つ、3 つ、または 4 つの部分を含み、それぞれが異なる視覚的インジケータに対応する。ディスプレイ画面の各部分は、異なる視覚的グラフィックに対応し得る。以下に説明するように、視覚的インジケータ（またはディスプレイ画面の一部）のそれぞれは、アクチュエータ情報に基づくことができる。場合によっては、単一の視覚的インジケータは、2 つ以上のアクチュエータからのアクチュエータ情報に基づくことができる。さらに、全体を通して説明されるように、視覚的インジケータは、ユーザがツールを配置すべき場所を示す第 1 のモード、および視覚的インジケータがユーザが手持ち部分を配置すべき場所を示す第 2 のモードで使用され得る。

20

【0127】

例えば、視覚的インジケータ 201、202、203 は、第 1 のアクチュエータ 21、22、23 の第 1 の命令位置に基づいて第 1 の指示（*first indication*）（第 1 の視覚的グラフィック）および第 1 のアクチュエータ 21、22、23 の第 2 の命令位置に基づく第 2 の指示（*second indication*）（第 2 の視覚的グラフィック）を出力するように構成され、第 1 の指示は第 2 の指示とは異なり、第 1 の命令位置は第 2 の命令位置とは異なる。上記のように、視覚的インジケータ 201、202、203 は、任意の適切なタイプのアクチュエータ情報に基づいて制御することができる。言い換えれば、ディスプレイ画面に表示される視覚的グラフィックスは、命令位置、以前に命令された位置、シミュレートされた命令位置、現在の測定位置、以前に測定された位置、使用可能な移動、アクチュエータの制限（ハードまたはソフトストップなど）、現在の位置から命令位置までに必要な距離、またはそれらの組み合わせに基づき得る。

30

【0128】

いくつかの構成では、機器コントローラ 28 は、上部および下部 204、206 が異なる状態で動作してツール 20 の所望の動きの方向を示すように、上部および下部 204、206 の照明を制御するように構成される。機器コントローラ 28 は、異なる状態または異なる表示で複数の部分の照明を制御するように構成されることがさらに企図される。例えば、様々な状態がユーザに次のことを示し得る。すなわち、（1）ユーザが手持ち部分 16 をどのように動かして、ツール 20（例えば、鋸刃）を所望の姿勢（例えば、所望の切断面上）に配置するべきか、または（2）アクチュエータ 21、22、23 が、以下でさらに説明するように、制御システム 60 が同時に動作してツール 20 を所望の姿勢に保つ間、それらのホーム位置に近づくなどの好ましい方向に動くように、ユーザが手持ち部分 16 をどのように動かすべきか。

40

【0129】

動作のいくつかのモードの間、機器コントローラ 28 は、ユーザが手持ち部分 16 を介してツール 20 を動かしている間に、ツール 20 の所望の姿勢を達成するためのツール 20 のピッチ方向、ロール方向、および z 軸並進の所望の変更をユーザに視覚的に示すために、ガイダンスアレイ 200 を自動的に制御／調整するように構成される（例えば、その

50

状態を変更する)。いくつかのバージョンでは、ガイダンスアレイ 200 は、ツール 20 の平面を直観的に表す方法で、ツール支持体 18 または手持ち部分 16 に結合されている。例えば、3つの点が平面を規定するので、3つの視覚的インジケータ 201、202、203 は、概して、ツール 20 の平面を表すことができる。場合によっては、インジケータ 201、202、203 のそれぞれは、ツール 20 の平面に対して既知の位置を有する点 P1、P2、P3 の 1つに対応する(例えば、ツールの平面に配置され、TCP 座標系、ツール支持体座標系 TCS で規定されている、またはその他の適切な座標系で規定されている)。いくつかのバージョンでは、インジケータ 201、202、203 は、図 23 A~23 D に示されるように、ツール 20 の点 P4、P5、P6 にそれぞれ対応する。視覚的インジケータ 201、202、203 に関連する点は、ツール 20 の平面内の他の適切な位置、またはツール 20 の平面に対して既知の関係を有する位置に規定することができる。

10

【0130】

集合的に、1つまたは複数の視覚的インジケータ 201、202、203 を使用するガイダンスアレイ 200 を配置し、それらの状態を制御して、ツール 20 のピッチ、ロール、および並進を変更するために、ユーザに所望の動きの変更(例えば、移動量)を視覚的に示すことができ、したがって、所望の姿勢を達成するための、ツール支持体座標系 TCS のピッチ、ロール、および並進の所望の変更を視覚的に示すことができる。より具体的には、機器コントローラ 28 は、ユーザがピッチ方向の所望の変更、ロール方向の所望の変更、および並進の所望の変更を区別できるようにガイダンスアレイ 200 を照明するように構成される。機器コントローラ 28 は、ユーザがツール 20 を所望の平面に動かすのに必要な移動量を示すことができるように、ガイダンスアレイ 200 を照明するか、またはディスプレイ画面を制御するように構成され得る。所望の平面は、平面または平面セグメントであり得る。ピッチ、ロール、および並進の変更は、例えば、1つまたは複数の仮想境界に関連している。

20

【0131】

別の構成では、1つまたは複数の視覚的インジケータ 201、202、203 を使用するガイダンスアレイ 200 を配置し、それらの状態を制御して、手持ち部分 16 のピッチ、ロール、および並進を変更するために、動きの所望の変更(例えば、移動量)を視覚的に示し、したがって、所望の姿勢を達成するために、ベース座標系 BCS のピッチ、ロール、および並進の所望の変更をユーザに視覚的に示すことができる。より具体的には、機器コントローラ 28 は、ユーザがピッチ方向の所望の変更、ロール方向の所望の変更、および並進の所望の変更を区別できるように、ガイダンスアレイ 200 またはディスプレイ画面を照明するように構成される。機器コントローラ 28 は、ツール 20 が所望の平面上にあるように、ユーザが手持ち部分 16 を動かすのに必要な移動量を示すことを可能にする方法でガイダンスアレイ 200 を照明するように構成される。ピッチ、ロール、および並進の変更は、例えば、1つまたは複数の仮想境界 184 に関連している。

30

【0132】

機器コントローラ 28 は、ガイダンスアレイ 200 および/または視覚的インジケータ 201、202、203 (またはディスプレイ画面)の動作を、ガイダンスアレイ/視覚的インジケータがツール 20 の動きの所望の変更を示すモードから、入力装置(例えば、フットスイッチ、トリガーなど)の起動などの入力信号に基づいて、手持ち部分 16 の動きの所望の変更を示すように切り替えることができる。あるいは、機器コントローラ 28 は、トラッカー 54、56、PT などの既知の座標系で、ツール 20 の位置と、骨の基準位置の位置に基づいて、これらのモードを切り替えるように構成してもよい。基準位置は、ターゲット物体に対して機器 14 を位置付けるために使用される座標系における点、表面、または体積であり得る。例えば、基準位置は、骨の表面、骨内の点、既知の座標系内の想像点または仮想点、座標系内の体積、またはそれらの組み合わせであり得る。基準位置の位置および/または方向は、登録および適切な計画ステップを通じて、患者トラッカーに関して知られている。

40

50

【0133】

以下に説明するように、機器コントローラ28は、距離パラメータに基づいてモードを切り替えることができる。距離パラメータは、距離（例えば、2つの物体がどれだけ離れているか）、大きさ（magnitude）（1つの物体に対する距離の方向）、またはその両方であり得る。いくつかの例では、距離パラメータが骨から離れる方向を有し、第1の閾値よりも大きい大きさを有するとき、機器コントローラ28はモードを切り替えることができる。第1のモードでは、機器コントローラ28は、アクチュエータ21、22、23のそれぞれを自動的に制御して、ツール20を手持ち部分16の姿勢に対して一定の姿勢に維持し、第2のモードでは、コントローラは、ツール20が手持ち部分16の姿勢に対して所望の平面に向かって能動的に動くように、アクチュエータ21、22、23のそれぞれを自動的に制御することを理解されたい。モード間の自動切り替えは、骨への近さおよび行われる切断によって決定される適切なタイプのガイダンスをユーザに提供し得る。言い換えれば、機器14が骨に近いとき、ガイダンスアレイ200および／または視覚的インジケータ201、202、203は、正確なガイダンスを提供するように動作し、手持ち部分16が、所望の平面に対して運動範囲を最大にする姿勢に位置決めされたままであることを確実にする。

10

【0134】

図23A～23Dに示されるスキームでは、第1の視覚的インジケータおよび第2の視覚的インジケータ201、202は、手持ち部分16の前であって、機器14の両側に配置され、それぞれのアクチュエータ21、22とほぼ整列している。第3の視覚的インジケータ203は、手持ち部分16の後方であって、アクチュエータ23とほぼ整列し、機器14の後部近くに配置される。すなわち、第1の視覚的インジケータおよび第2の視覚的インジケータ201、202は、第3の視覚的インジケータ203の遠位に配置される。図2に示すように、上から見た場合、ホーム位置において、第1の視覚的インジケータおよび第2の視覚的インジケータ201、202は、ツール支持体座標系TCSおよびベース座標系BCSのy軸の前方およびツール支持体座標系TCSおよびベース座標系BCSのx軸の両側に配置される。上から見たとき、ホーム位置において、第3の視覚的インジケータ203は、y軸の後方に配置され、x軸と整列されている。いくつかの例では、ホーム位置にあるとき、ツール支持体18は、x軸を通して垂直中心面VCPを規定し、第1の視覚的インジケータおよび第2の視覚的インジケータ201、202は、垂直中心面VCPの両側で垂直中心面VCPからオフセットされ、垂直中心面VCPは、第3の視覚的インジケータ203を通過する（図11を参照）。視覚的インジケータ201、202、203の他の配置が企図される。

20

30

【0135】

いくつかの例では、図23A～23Dに戻って参照すると、上部および下部204、206は、ツール支持体座標系TCSのz軸に平行な方向軸DA上で垂直に配向することができ、異なる状態（例えば、色、周波数、強度など）は、各視覚的インジケータ201、202、203の所望の動きの上下方向を示すために、上部および下部204、206のそれぞれに示すことができる。この配置の結果として、例えば、視覚的インジケータ201、202、203のすべてが下方向の動きが望まれることを示すように制御される場合、それは、ユーザが手を下方向に動かす必要があることを示す（図23Aの矢印を参照）。機器コントローラ28は、上部204が第1の状態で作動し、下部206が第1の状態とは異なる第2の状態で作動して、ユーザに仮想境界184に対するツール20および／または手持ち部分16の並進位置を変更することを示すように、上部204の照明を制御することができる。示されている例では、下向きの方は、上部204を赤く照明し、下部206を黄に照明することによって視覚的に示すことができる（例えば、黄の上の赤は方向が下方向であることを示す）。

40

【0136】

機器コントローラ28はまた、第1の視覚的インジケータ201の上部204の照明を第1の状態で作動するように制御し、第2の視覚的インジケータ202の上部204の照

50

明を第1の状態とは異なる第2の状態で作動するように制御し、ツール20のロール方向を変更するようにユーザに示すように構成され得る。同様に、機器コントローラ28は、第3の視覚的インジケータ203の上部204の照明を第1の状態で作動するように制御し、第1および第2の視覚的インジケータ201、202の上部204の照明を第1の状態とは異なる第2の状態で作動するように制御し、仮想境界184に対するツール20のピッチ方向を変更するようにユーザに示すように構成され得る。例えば、図23Bに示されるように、わずかな下方向の動きおよびピッチ方向の変更のみが必要とされる場合（矢印を参照）、第1の視覚的インジケータおよび第2の視覚的インジケータ201、202を照明して、それらがまだわずかに下方向に動かす必要があることを示すことができる。しかしながら、第3の視覚的インジケータ203は、機器14の後部が前部よりもさらに下に動かす必要があることを示すために異なって照明されることができる（すなわち、ピッチの変更が必要である）。示されている例では、第1の視覚的インジケータおよび第2の視覚的インジケータ201、202の上部204を黄に照明し、下部206は緑に照明することによってわずかな下向き方向を視覚的に示すことができる（例えば、緑の上に黄は方向が少し下であることを示す）。同時に、第3の視覚的インジケータ203は、図23Aのように照明されたままであり（例えば、黄の上に赤）、後部でさらに下方向の動きが必要であることを示し、したがって、視覚的かつ直感的に、機器14がピッチにおいて再配向されるべきであることをユーザに示し得る。

【0137】

図23Cに示されるように、機器コントローラ28は、第1の視覚的インジケータおよび第2の視覚的インジケータ201、202の上部および下部204、206の照明を制御し、上部および下部204、206が同じ状態で動作し、ツール20の平面内の、またはツール20の平面に関連する対応する点（P1、P2またはP4、P5）が所望の位置にあることを示す（例えば、緑の照明の上に緑で示される）ように構成され得る。言い換えれば、第1および第2のアクチュエータ21、22は、最終的にツール20を所望の平面上に配置するためにそれ以上の作動を必要としない。しかしながら、図23Cにも示されているように、第3の視覚的インジケータ203の上部および下部204、206は、依然として異なる状態にあり、機器14の後部（および対応する点P3またはP6）は、図23Bで必要とされるよりも少ないが（上記のように緑の上の黄の照明で示されるように）、依然として下げる必要があることを示す。図23Dは、指示されたようにユーザが機器14の後部をわずかに動かした（ピッチで）結果を示しており、視覚的インジケータ201、202、203の上部および下部のすべての部分204、206が同じ状態で動作する（例えば、緑の上の緑の照明）ことによって示されるように、ツール20が所望の姿勢にある。

【0138】

前述のように、ガイダンスアレイ200（またはディスプレイ画面の各部分）の各視覚的インジケータ201、202、203は、アクチュエータ21、22、23のうちの1つまたは複数に関連付けることができる。言い換えれば、特定の構成では、各視覚的インジケータ201、202、203は、特定の視覚的インジケータ201、202、203の状態が、対応するアクチュエータ21、22、23に関するアクチュエータ情報を直接反映するように、アクチュエータ21、22、23の対応する1つと対にされる。各視覚的インジケータ201、202、203は、2つ以上のアクチュエータ21、22、23と対にされることもまた企図される。別の例では、2つ以上のアクチュエータ21、22、23は、1つまたは複数の視覚的インジケータ201、202、203と対にされ得る。場合によっては、特定の視覚的インジケータ201、202、203の状態は、1つまたは複数のアクチュエータ21、22、23に必要な動きの量を反映し、対応する点（例えば、P1、P2、P3またはP4、P5、P6）を命令姿勢（例えば、ツール20の所望の平面）に動かす。例えば、図23Aのすべての視覚的インジケータ201、202、203に示されるように、黄の上の赤の照明スキームは、各アクチュエータ21、22、23がそれらの対応する点を所望の平面に動かすために比較的長い距離を移動する（例え

ば、収縮する）必要があることを示し、または所望の平面がアクチュエータ 21、22、23の手の届かないところにあることを示し得る。より具体的には、場合によっては、黄の上の赤の照明スキームは、所望の平面に到達するために必要な移動距離は、アクチュエータの利用可能な総移動の60%、65%、70%、75%、80%を超える、またはそれ以上になり得る（例えば、アクチュエータのホーム位置からハードまたはソフトの制限まで測定した場合）ことを示す。他の範囲も考えられる。照明スキームが代わりに赤の上に黄であった場合、アクチュエータ 21、22、23は、反対方向に比較的長い距離を移動する必要がある（例えば、延びる）。

【0139】

同様に、図 23Bの視覚的インジケータ 201、202に示されるように、緑の上の黄の照明スキームは、関連するアクチュエータ 21、22が対応する点を所望の平面に動かすために比較的短い距離を移動する（例えば、収縮する、延長する）必要があることを示し得る。より具体的には、場合によっては、緑の上の黄の照明スキームは、所望の平面に到達するために必要な動作範囲は、アクチュエータの利用可能な総移動の30~80%、30~75%、30~70%、30~65%、30~60%、40~80%、40~75%、40~70%、40~65%、40~60%、50~80%、50~75%、50~70%、50~65%、または50~60%の範囲であり得ることを示す。他の範囲も考えられる。照明スキームが代わりに黄の上に緑であった場合、アクチュエータ 21、22は、反対方向に比較的短い距離を移動する必要がある（例えば、延びる）。

【0140】

図 23Dのすべての視覚的インジケータ 201、202、203に示されるように、緑の上の緑の照明スキームは、関連するアクチュエータ 21、22、23が、対応する点を所望の平面に動かすために、比較的短い距離を移動する（例えば、収縮または延長する）必要があることを示し、または、対応する点がすでに所望の平面上にあることを示す。より具体的には、場合によっては、緑の上の緑の照明スキームは、所望の平面に到達するために必要な移動距離が、いずれかの方向のアクチュエータの利用可能な総移動の0~30%、0~40%、または0~50%の範囲にあり得ることを示す。他の範囲も考えられる。視覚的インジケータ 201、202、203の状態の例示的なスキーム、および状態をいつ変更するかを決定するための閾値は、図 23Eに示されている。図 23Eでは、ホーム位置からの必要な移動の正（+）のパーセンテージは、必要な延長の動きを示し、ホーム位置からの必要な移動の負（-）のパーセンテージは、必要な収縮の動きを示す。他の閾値およびそのような閾値に関連する状態変更が企画される。例えば、閾値は、必要な移動の実際の距離（例えば、ミリメートルまたはインチ）、および／または他の適切なパラメータに基づくことができる。

【0141】

視覚的インジケータ 201、202、203のそれぞれは、発光ダイオード（LED）などの少なくとも1つの照明源を含む。各LEDは、オン、オフ、異なる周波数で、異なる強度／色で照明される点滅／明滅、それらの組み合わせなどの異なる状態で動作することができる。ほとんどの例では、視覚的インジケータ 201、202、203は複数のLEDを含み、その結果、視覚的インジケータ 201、202、203のそれぞれは、視覚的インジケータの各部分で緑、黄、および赤などのいくつかの色の光を生成することができる。各色は、1つまたは複数のアクチュエータ 21、22、23に関する情報を表すことができる。視覚的インジケータ 201、202、203の色、周波数、強度、および／または状態は、1つまたは複数のアクチュエータ情報に結び付けられ、命令位置、以前に命令された位置、シミュレートされた命令位置、現在の位置、以前に測定された位置、利用可能な移動、アクチュエータの制限（ハードまたはソフトストップなど）、現在の位置から命令位置までに必要な距離またはそれらの組み合わせなどである。

【0142】

一例では、アクチュエータ 21、22、23の少なくとも1つに関する情報は、第1のアクチュエータ 21、22、23の命令位置、および第1のアクチュエータ 21、22、

23の利用可能な移動であり得る。視覚的インジケータは、ツール20を動かすための第1のアクチュエータの命令位置および第1のアクチュエータの利用可能な移動に基づいて制御され得る。例えば、第1の色は、アクチュエータの動作範囲内の第1の移動範囲およびそのアクチュエータ21、22、23の命令位置に基づくことができ、第2の色は、第1の移動範囲とは異なる、アクチュエータ21、22、23の動作範囲内の第2の移動範囲、およびそのアクチュエータ21、22、23の命令位置であり得る。利用可能な移動範囲内のアクチュエータ21、22、23の第3の移動範囲を表す第3の色が含まれてもよく、第3の移動範囲は、第2の移動範囲とは異なる。例えば、第1の色は赤で、アクチュエータ21、22、23の命令位置に相関し、利用可能な移動の外側の制限に最も近くなる。第2の色は黄で、アクチュエータ21、22、23の命令位置に相関し、利用可能な移動の外側の制限からさらに離れている。第3の色は緑であり、アクチュエータ21、22、23の命令位置が利用可能な移動範囲の制限から遠く離れていることを示している。一例では、各視覚的インジケータ201、202、203は、アクチュエータ21、22、23の1つを表し、各アクチュエータを所望の位置に動かすために必要な視覚的合図（例えば、1つまたは複数の色、1つまたは複数のパターン、1つまたは複数の強度）を表示する。別の例では、視覚的インジケータ201、202、203に関連する色は、いくつかのアクチュエータパラメータを表し、視覚的インジケータ201、202、203によって、少なくとも1つのアクチュエータ21、22、23を命令位置に持ってくるのに必要な移動量を表す第1の色、およびツール20をアクチュエータの動作範囲に持ってくるために手持ち部分16を動かす必要のある方向を表す第2の色をユーザに伝える。上記のように、第3の色は、利用可能な移動の最も外側の範囲（すなわち、命令位置に対して利用可能な残りの最小の移動）に対応し得る。第2の色は、利用可能な移動の中間範囲に対応し得る。第1の色は、利用可能な移動の最も内側の範囲に対応し得る（すなわち、命令位置に対して利用可能な残りの最も多くの移動）。いくつかの例では、視覚的インジケータ201、202、203が上部204および下部206を有するように構成される場合、視覚的インジケータ201、202、203のそれぞれは、異なる状態で上部204と下部206の両方を照明して、手持ち部分16の所望の動きの方向を示すことができる。いくつかのバージョンでは、視覚的インジケータ201、202、203の上部および下部204、206の照明は、命令位置および手持ち部分16の利用可能な移動に基づいて、同じ状態で動作され得る。

【0143】

ガイダンスアレイ200、視覚的インジケータ201、202、203は、ガイダンスアレイおよび／または視覚的インジケータがツールの配置を示している第1のモード、およびガイダンスアレイ200および／または視覚的インジケータ201、202、203が手持ち部分16の配置を示している第2のモードで、アクチュエータ情報に基づいて、ピッチ方向、ロール方向、z軸並進、またはそれらの組み合わせの変更を視覚的に示すように構成され得る。ガイダンスアレイ200、視覚的インジケータ201、202、203は、両方のモードでアクチュエータ情報に基づいて同じ視覚的合図を視覚的に示すことができる。あるいは、ガイダンスアレイ200、視覚的インジケータ201、202、203は、各モードでアクチュエータ情報に基づいて異なる視覚的合図を視覚的に示すことができる。例えば、視覚的インジケータ201、202、203は、アクチュエータ21、22、23のうちの1つまたは複数の利用可能な移動および命令位置に基づいて制御され得る。別の構成では、各視覚的インジケータ201、202、203は、対応するアクチュエータ21、22、23の位置を表示し、手持ち部分16および／またはツール20を平面上に配置するための修正移動および／または方向をユーザに示すことができる。それに加えて、および／または、その代わりに、各視覚的インジケータ201、202、203は、手持ち部分16の位置を表示し、手持ち部分16および／またはツール20を平面上に配置するための修正移動および／または方向をユーザに示すことができる。例えば、視覚的インジケータ201、202、203のそれぞれは、手持ち部分16を調整するためのアクチュエータ情報に基づいて、ピッチ方向、ロール方向、z軸並進、またはそれ

らの組み合わせの変更をユーザに示すことができる。

【0144】

上記のように、ガイダンスアレイ200および／または視覚的インジケータ201、202、203（ディスプレイ画面など）を使用して、ユーザが手持ち部分16および／またはツール20を所望の姿勢（ターゲット面など）に動かすようにガイドすることができる。アクチュエータ21、22、23がツール20を所望の姿勢に向かって能動的に動かしていない場合、すなわち、ユーザが手持ち部分16を動かすことによるのみツール20の姿勢が変更される場合、仮想シミュレーションを使用して、ツール20の所望の姿勢を達成するために手持ち部分16をどのように動かすかをユーザに示すことができる。このシミュレーションは、アクチュエータ21、22、23が所望の姿勢を達成するために能動的に制御されているかのように作動することができ、したがって、機器コントローラ28は、アクチュエータ21、22、23のそれぞれについてシミュレートされた命令位置（実行されない）を生成し、これは1つまたは複数のアクチュエータ21、22、23の利用可能な移動を超え得る。この場合、視覚的インジケータ201、202、203は、依然として赤く照明し（例えば、範囲外であるか、または範囲の制限に近い）、手持ち部分16を動かす必要があることをユーザに示すことができる。言い換えれば、アクチュエータ21、22、23をその制限に近いまたはそれを越える位置に動作する必要がある場合、これは、アクチュエータ21、22、23が、制限を超えることなく、ツール20を所望の姿勢に配置するように動作できるような位置に手持ち部分16を配置するように、手持ち部分16を動かす必要があることをユーザに直接示している。例えば、機器コントローラ28は、アクチュエータ21、22、23のそれぞれに配置された1つまたは複数のエンコーダからの出力信号に基づいて、アクチュエータ21、22、23のそれぞれの現在の位置を決定する。アクチュエータ21、22、23のそれぞれの現在の位置を受け取ると、機器コントローラ28は、手持ち部分16の現在の姿勢を計算することができる。機器コントローラ28がツール支持体18および手持ち部分16の現在の姿勢を有すると、次に、機器コントローラ28は、アクチュエータ21、22、23のそれぞれの現在位置によって計算されたツール20の現在の姿勢および手持ち部分16の現在の姿勢に基づいて、ツール20、手持ち部分16、またはその両方の命令姿勢を決定することができる。次に、機器コントローラ28は、視覚的インジケータ201、202、203を介して（場合によってはガイダンスアレイ200を使用することにより）命令指示をユーザに送信することができ、これはまた、ユーザが手持ち部分16をどのように動かすかと相関する（すなわち、機器14全体をターゲット面に向かって動かす）。

【0145】

全体を通して説明されるガイダンスアレイおよび／または視覚的インジケータ201、202、203は、任意の外科用ツールおよび任意の機器14のアクチュエータ構成で使用できることを理解されたい。例えば、ガイダンスアレイ200、視覚的インジケータ201、202、203、またはその両方は、以下でさらに説明される構成で使用され得る。さらに、ガイダンスアレイ200および／または視覚的インジケータ201、202、203は、ロボットシステム10がツール20および／または手持ち部分16を、所望の姿勢、軌道、方向、位置、平面、またはそれらの組み合わせに動かすのに必要な移動量を示すことを可能にする構成を包含すると理解され得る。任意のガイダンスアレイおよび／または視覚的インジケータを、機器14の任意の構成とともに使用して、本出願全体で説明される動作モードのいずれかで機器14を位置決めする、動かす、および／または調整する方法をユーザに信号で伝えることができる。ピッチ、ロール、および並進の変更は、例えば、仮想境界のうちの1つまたは複数に関連している。ガイダンスアレイ200および／または視覚的インジケータ201、202、203は、ドリルまたはリーマー、ドライバ（ねじまたはピンの配置用）、バー、ピン、ガイドチューブなどを含むがこれらに限定されない、様々なタイプのツールの位置決めを容易にすることができる。

【0146】

聴覚、触覚（例えば、振動）など、他のタイプのフィードバックを使用して、ユーザを

ガイドするのを助けることができることを理解されたい。例えば、駆動モータMを使用してフィードバックを提供することができる。拡張現実技術の使用、解剖学的構造への光の投射など、他のタイプの視覚的フィードバックも使用できる。

【0147】

動作

動作中、ロボットシステム10は最初にパワーアップされ、システムを動作させるためのソフトウェアアプリケーションが開始される。トラッカー52、54、56、PTは初期化され、トラッカー52、54、56は、機器14およびターゲットの解剖学的構造（例えば、大腿骨Fおよび脛骨T）上に配置される。トラッカー54、56が解剖学的構造に取り付けられた状態で、解剖学的構造および／または関連する画像／モデルは、既知の登録技術を使用してトラッカー54、56に登録される。これは、ユーザがポインタ57で解剖学的構造上の特定の表面またはランドマークに触れることを要求し得る。例えば、これは、ユーザが、ポインタ57の選択ボタンを押すか、またはナビゲーションシステム32のフットスイッチを押す間に、解剖学的構造の表面上のいくつかの点に触れることを必要とし得る。これは、解剖学的構造の術前および／または術中の画像／モデルと一致させるために、ナビゲーションシステム32内の表面上の点を「ペイント」する。解剖学的構造の術前画像および／または術中画像／モデルは、ナビゲーションシステム32にロードされる。解剖学的構造の追跡された部分は、術前／術中の画像／モデルに登録される。ひいては、これにより、ロボットシステム10は、解剖学的構造が動くときに、ディスプレイ38上に解剖学的構造の実際の位置および方向のグラフィック表現を提示することができる。

【0148】

較正／登録手順において、トラッカー52の方向および位置は、較正ディボットCDまたは他の基準点の固定された既知の位置を参照することによって、ツール支持体18に対して較正／登録される。いくつかの例では、1つまたは複数のトラッカー52をツール支持体18、手持ち部分16、またはその両方に配置し、ツール支持体18および／または手持ち部分16の位置がナビゲーションシステム32によって追跡されるようにする。トラッカー52が機器14に一体化されている例では、ツール支持体18に対するトラッカー52の相対的な位置が知られているので、そのような較正は不要であろう。

【0149】

機器14の動作を制御するために使用される仮想物体（例えば、仮想境界184）もまた、規定／取得される。機器コントローラ28上で実行されているソフトウェア（例えば、境界発生器182）は、仮想物体の初期規定を生成／取得する。ユーザは、必要に応じて仮想物体の性質／配置を調整する機能と選択肢を有し得る。

【0150】

図22に示されるように、1つの例示的な構成では、制御システム60は、ターゲット部位および／または解剖学的構造からの所定の距離および／または位置で様々な領域を規定する。これらは、領域I、II、およびIIIとして示されている。これらの領域のそれぞれは、解剖学的構造および／または仮想境界184に関連する座標系で規定することができる。場合によっては、これらの領域は、ターゲット部位および／または解剖学的構造に関する球または他の幾何学的プリミティブとして規定される。他の例では、領域（および以下で説明する他の領域）は、機器14、ツール支持体18、手持ち部分16、ツール20、ターゲット部位／解剖学的構造、またはそれらの組み合わせに関して規定され得る。制御システム60は、手持ち部分16、ツール支持体18、ツール20、ターゲット部位／解剖学的構造、またはそれらの組み合わせによって規定される領域が特定の仮想境界／仮想切断ガイド機能に近づくときに、機器14を制御することができる。

【0151】

いくつかの例では、機器コントローラ28は、複数のアクチュエータ21、22、23および視覚的インジケータ201、202、203に結合されて、以下を含む複数のモードでそれらの動作を制御する。すなわち、機器コントローラ28が複数のアクチュエータ

21、22、23のそれぞれをそれらのホーム位置に自動的に調整するホームモード、複数のアクチュエータ21、22、23がそれらのホーム位置に維持されている間に、機器コントローラ28が、ツール20を所望の姿勢（例えば、所望の軌道または平面上）に配置するためのツール20の所望の動きを示すアプローチモード、ツール20が概して所望の姿勢に配置されており、機器コントローラ28が、ガイダンスアレイ200およびそれに関連する視覚的インジケータ201、202、203を使用し、複数のアクチュエータ21、22、23をそれらのホーム位置の閾値内に維持するための手持ち部分16の所望の動きを示すオンターゲットモードである。

【0152】

追加的に、および／または代替的に、機器コントローラ28は、機器14を、ホーミングモード、アプローチモード、およびオンターゲットモード以外のモードに配置することができ、複数の入力に基づいて作動および調整するために、視覚ガイダンスアレイ、視覚的インジケータ201、202、203、アクチュエータ21、22、23、またはそれらの組み合わせを制御する。

【0153】

別の構成では、機器コントローラ28は、ガイダンスアレイおよび／または視覚的インジケータを制御して、複数のアクチュエータ21、22、23がある位置に維持されている間、領域内の機器14の姿勢に基づいて、ツール20を所望の姿勢に配置（例えば、所望の軌道または平面上）するための手持ち部分16の所望の動きを示すモードで動作することができる。

【0154】

別の例では、機器コントローラ28は、ガイダンスアレイおよび／または視覚的インジケータを制御して、複数のアクチュエータ21、22、23が、ターゲット面および手持ち部分16に対してツール支持体18およびツール20を能動的に調整している間、領域内の機器14の姿勢に基づいて、ツール20を所望の姿勢（例えば、所望の軌道または平面上で）に配置するための手持ち部分16の所望の動きを示すモードで動作することができる。

【0155】

いくつかの例では、機器コントローラ28は、ツール支持体18およびツール20が、機器14の姿勢に基づいて、手持ち部分16に対して所望の平面に向かって能動的に移動するようにアクチュエータ21、22、23のそれぞれを自動的に制御する第1のモードで動作することができ、複数のアクチュエータ21、22、23がある位置に維持されている間に、ガイダンスアレイ200、視覚的インジケータ201、202、203、またはその両方で、機器14の姿勢に基づいてツール20を所望の姿勢に配置するための手持ち部分16の所望の動きを示す第2のモードに自動的に切り替わる。他の動作モードも可能である。

【0156】

さらに、一例では、ユーザが複数のアクチュエータのアクチュエータ情報に基づいて機器を動かしている間、コントローラは、第1のモードで視覚的インジケータを制御して、鋸刃のピッチ方向、ロール方向、および並進位置の変更を視覚的に示すように構成され得る。コントローラはさらに、第2のモードで視覚的インジケータを制御して、ユーザが複数のアクチュエータのアクチュエータ情報に基づいて機器を動かしている間、手持ち部分のピッチ方向、ロール方向、および並進位置の変更を視覚的に示すように構成される。コントローラは、ツール20の位置および基準位置の位置に基づいて、または入力装置から受信した入力信号に基づいて、第1のモードと第2のモードとの間で切り替わるように構成される。

【0157】

ロボットシステム10は、起動時に機器14をホーム位置に配置するためにホームモードを起動することができ、例えば、ロボットシステム10が最初にパワーアップされるとき、アクチュエータ21、22、23は、それらのホーム位置に配置される。規定された

10

20

30

40

50

ホームモード全体を完了しない場合でも、アクチュエータ 21、22、23 は、移動する前にそれぞれのホーム位置に設定され得る。

【0158】

図 24A に示されるように、機器 14 の TCP が領域 II の外側の領域 III に位置する場合、ツール 20 は、解剖学的構造から十分に離れて配置される。領域 III は、「遠い」または「遠隔」領域と呼ばれることもある。結果として、制御システム 60 は、まだ、ツール 20 を所望の姿勢に配置するようにユーザをガイドする必要がない（しかし、いくつかのバージョンでは、ガイドは領域 III で開始することができる）。領域 III では、機器コントローラ 28 は、機器 14 をホーム位置に維持し、例えば、機器コントローラ 28 は、アクチュエータ 21、22、23 のターゲット位置をそれらのホーム位置に維持する。一般に、ツール 20 の動作は、領域 III では無効にされ、例えば、ユーザは、トリガー、フットスイッチ、または他の入力装置を介して駆動モータ M を起動させることができない。いくつかのバージョンでは、ユーザはこの無効化機能をオーバーライドして、領域 III にいるときにユーザが何らかの治療を実行できるようにすることができる。

【0159】

機器の「TCP」という句は、「鋸刃の位置」という句と交換可能に使用されていることを理解されたい。したがって、機器／ツールの TCP が使用される場合は、鋸刃の位置に置き換えることができ、その逆も可能である。もちろん、「鋸刃」の位置は、代わりに、ドリル、バー、ガイドチューブ、ピンなどの任意の適切な構成のツールの位置であり得ることも企図される。

【0160】

代替構成では、機器コントローラ 28 は、1 つまたは複数のアクチュエータパラメータの動作範囲などのアクチュエータ情報に基づいて機器 14 が任意の領域にあるときに、フットスイッチまたはトリガーなどの入力装置を自動的に無効にすることができる。

【0161】

図 24B を参照すると、ユーザは、ツール 20 を領域 III から領域 II に進める（例えば、TCP の位置によって示されるように）。領域 II は、「中間」領域と呼ばれることもある。いくつかのバージョンでは、ユーザがツール 20 を領域 III から領域 II に進めると、機器コントローラ 28 は自動的にアプローチモードを起動する。アプローチモードでは、機器コントローラ 28 は、前述のとおり、ガイダンスアレイ 200 およびそれに関連する視覚的インジケータ 201、202、203 を制御して、ユーザがツール支持体 18 およびツール 20 を所望の姿勢（例えば、所望の軌道、平面など）に配置するようにガイドする。所望の姿勢に対する機器 14 の相対的な位置を示すために、ナビゲーションディスプレイ 38 上に画像を提示することもできる。ツール 20 が所望の姿勢の閾値距離に入ると、そのことは、すべての現在の累積カウント値が各アクチュエータ 21、22、23 の対応する閾値カウント値内にあることによって示される。次に、機器コントローラ 28 は、図 24C に示されるように、ツール 20 を所望の姿勢にスナップ（snap）する。

【0162】

スナップとは、ツール 20 の所望の姿勢を運動制御 188 に送信する挙動制御 186 を指し、運動制御 188 は、次に、アクチュエータ 21、22、23 のターゲット回転子位置を生成して、ツール 20 を所望の姿勢に配置する。いくつかのバージョンでは、スナップは、ツール 20 を所望の姿勢に配置するための各アクチュエータ 21、22、23 の利用可能な移動が、利用可能な移動の閾値パーセンテージ内、利用可能な移動の閾値距離内などの閾値内にあるときに発生する。場合によっては、閾値は、視覚的インジケータ 201、202、203 の状態変更に関連する閾値と同じである。例えば、すべての視覚的インジケータ 201、202、203 が緑を示すと、次に、機器コントローラ 28 は、各アクチュエータ 21、22、23 を起動させて必要に応じて移動させることにより、ツール 20 を所望の姿勢にスナップさせ、その対応する点（例えば、P1、P2、P3 または P4、P5、P6）が所望の位置（例えば、ツール平面上）にあるようにする。スナップ動

作を実行するためにアクチュエータ 21、22、23 が動作される速度（速さ）および／または加速度は、制御システム 60 によって制御／制限することができる。場合によっては、関連する力が手持ち部分 16 を介してユーザの手に伝達されるため、所望の姿勢にスナップするときにユーザに明確な触覚フィードバックを与えるために、より速い加速が所望される場合がある。アクチュエータ 21、22、23 のすべてが同時に動作されるため、アクチュエータ 21、22、23 が所望の姿勢にスナップするときに、聴覚的および視覚的フィードバックも提供される。

【0163】

他のバージョンでは、ツール 20 を所望の姿勢に移動し、次いで、ユーザは、手持ち部分 16 を、アクチュエータ 21、22、23 の利用可能な移動の閾値内のより快適な位置に調整して、ツール 20 がその所望の位置に維持されている間に切断することができる。次に、ユーザは、ボタンやフットスイッチなどの入力装置を起動するか、タッチスクリーンで選択することにより、ツール 20 の姿勢に対する手持ち部分 16 の姿勢が現在の空間的關係で保持または凍結されるフリーハンドモードに移動することを選択できる。ユーザがフリーハンドモードを選択すると、ツール 20 の姿勢に対する手持ち部分 16 の保持された姿勢は、アクチュエータ 21、22、23 の仮想閾値を変更し、アクチュエータの動きを制限して、保持された姿勢を維持することが企図される。あるいは、フリーハンドモードが起動されると、複数のアクチュエータ 21、22、23 がそれらのホーム位置にリセットされてもよい。

【0164】

機器コントローラ 28 がツール 20 を所望の姿勢にスナップすると、図 25A～25C に示されるように、オンターゲットモードが起動される。特に、機器コントローラ 28 は、モータ 142 に一体の回転子 148 がツール 20 を所望の姿勢に維持するために回転しなければならない一組のターゲット回転子位置を生成する。言い換えれば、ユーザが手持ち部分 16 を動かしてツール 20 をその所望の姿勢から遠ざけた場合、これは、ナビゲーションシステム 32 によって検出される。この動きに応答して、機器コントローラ 28 は、ナビゲーションシステム 32 からのデータに基づいて、ツール 20 が所望の姿勢からどれだけ離れて移動したかを決定し、必要に応じてアクチュエータ 21、22、23 を駆動することによってそのような動きを補償し、ツール 20 を所望の姿勢に戻す。機器コントローラ 28 は、実質的にリアルタイムでそのような偏差を継続的に計算するために高周波数（例えば、フレームレート）で動作するので、所望の姿勢からのそのような偏差は通常小さいことを理解されたい。

【0165】

ターゲット回転子位置は、アクチュエータ 21、22、23 の作動と結果として生じる動き（例えば、運動学）との間の関係に基づいて決定される。例えば、所望の姿勢が手持ち部分 16 に対して z 軸の並進を必要とする場合、ツール 20 が z 軸内で動く量と各回転子 148 の回転量との間に 1 次関係がある（例えば、そのような z 軸の動きに関連するカウンタの数）。第 3 のアクチュエータ 23 のみの作動に応答して、または第 1 および第 2 のアクチュエータ 21、22 の一方または両方と組み合わせて、ツール 20 がそのピッチ方向を変更する量との間にも関係がある。最後に、第 3 のアクチュエータ 23 の作動の有無にかかわらず、第 1 および第 2 のアクチュエータ 21、22 の一方または両方の作動に応答してツール 20 がそのロール方向を変更させる量との間には関係がある。これらの関係に基づいて、機器コントローラ 28 は、ツール 20 の所望の姿勢を維持するために必要とされる各回転子 148 のターゲット回転子位置を決定する。機器コントローラ 28 は、これらのターゲット回転子位置に基づいてモータ 142 を動作する。例えば、コンソール 33 は、これらのターゲット回転子位置を含むパケットをモータコントローラに送信することができ、各モータコントローラは、関連するモータ 142 に適切な通電信号を付加することができる。これらの通電信号は、回転子 148 の回転を引き起こし、その結果、ツール 20 を所望の姿勢に維持するために、必要に応じてツール支持体 18 / ツール 20 を変位させる親ねじ 150 の再配置をもたらす。

【0166】

機器コントローラ28は、ナビゲーションシステム32からの追跡データを使用して、ツール支持体18に対する手持ち部分16の位置に基づいてモータ142を動作することができ、ツール20を所望の姿勢に維持するためにアクチュエータ21、22、23を調整する。

【0167】

図25Bおよび25Cは、アクチュエータ21、22、23がエラーを補償してツール20を所望の姿勢に維持しなければ、ツール20が所望の姿勢から外れてしまう（図25Aと比較して）ようにユーザが手持ち部分16を動かしていることを示す。そのような検出および補償が行われる期間（例えば、フレームレート）は、ミリ秒、またはサブミリ秒、例えば、0.5から4ミリ秒、またはそれより速くすることができる。より速いまたはより遅いフレームレートも考慮される。したがって、ロボットシステム10は、ツール20がその所望の姿勢から離れる方向に動くことに迅速に応答し、その結果、ツール20は、任意の所与の期間において所望の姿勢からわずかに逸脱するだけである。

【0168】

領域IIにおいて、手持ち部分16が、図26Aに示されるように、アクチュエータ21、22、23の動作を通じて機器20が所望の姿勢にツール20を維持することができない位置にユーザによって動かされたとき、ツール20は、所望の姿勢からスナップを解除（unsnap）する。より具体的には、スナップ解除は、アクチュエータ21、22、23の1つまたは複数がそれらの利用可能な移動を超え、所望の姿勢にとどまるために必要な調整をできなくなったときに発生する。スナップ解除が発生すると、機器コントローラ28はオンターゲットモードを終了する。次に、機器コントローラ28は、すぐにホームモードで動作して、アクチュエータ21、22、23を再ホーミングする。アクチュエータ21、22、23の再ホーミングは、スナップ解除プロセスの一部と見なされ得る。したがって、ユーザは、アクチュエータ21、22、23のそれぞれの再ホーミングを介して触覚フィードバックを提供され、手持ち部分16を介してユーザの手に力が伝達される。アクチュエータ21、22、23の再ホーミングに関連する聴覚的および視覚的フィードバックも提供される。ホーミングが完了すると、機器コントローラ28は、前述のように、ガイダンスアレイ200を再びアプローチモードで動作して、手持ち部分16を動かしてツール20を所望の姿勢に配置する方法についてユーザに指導する（図26B）。機器コントローラ28は、ツール20を所望の姿勢に再スナップし、すべてのアクチュエータ21、22、23に必要な移動が再び事前規定された閾値内に入ると、オンターゲットモードに再び入る。

【0169】

機器コントローラ28はまた、アプローチモードとはわずかに異なる機能を有するが、オンターゲットモードでのガイダンスアレイ200の動作を制御する。オンターゲットモードとアプローチモードの両方で、ガイダンスアレイ200は、視覚的インジケータ201、202、203の状態を制御して、機器14の手持ち部分16のユーザの所望の動きを示すように制御される。前述のように、アクチュエータ21、22、23は、ユーザが視覚的インジケータ201、202、203によってガイドされて手持ち部分16を所望の平面に向けて配置するときに、ホーム位置または他の所定の位置に保持される。アクチュエータ21、22、23をそれらのホーム位置または他の所定の位置に維持することによって、ユーザは、ツール20を、ターゲットに対して所望の平面および機器の姿勢に調整および整列させることがより容易であることに気付くことができる。しかしながら、オンターゲットモードでは、ツール20は、すでに大体、所望の姿勢にあるので、視覚的ガイダンスは、ツール20を所望の姿勢に配置するのを助けることを意図しておらず、代わりに、アクチュエータ21、22、23をそれらのホーム位置または他の所定の位置の近くに維持することによって、機器14に十分な調整可能性を提供するために手持ち部分16をどのように動かすかに関してユーザをガイドすることを意図している。例えば、領域IIのオンターゲットモードにあるとき、ツール20を所望の姿勢に保ちながら、ユーザ

は、手持ち部分 16 を z 軸方向に上方に動かして、すべてのアクチュエータ 21、22、23 をホーム位置に近づける必要がある場合がある。言い換えれば、アクチュエータ 21、22、23 は、ほぼ完全に延ばされる。これを達成するために、ガイダンスアレイ 200 からの方向指示は上方向である。この場合、ガイダンスアレイ 200 は、実際には、アクチュエータ 21、22、23 がそれらのホーム位置に向かって動作してアクチュエータ 21、22、23 の調整可能性を最大化するように、手持ち部分 16 を上方に動かすようにユーザをガイドしている。ユーザが手持ち部分 16 を上方向に動かすと、アクチュエータ 21、22、23 は、ツール 20 を所望の姿勢（例えば、仮想境界 184 上）に維持するように動作し続ける。その結果、アクチュエータ 21、22、23 は、例えば、それらのホーム位置に向かって収縮する。理想的には、ユーザが領域 I に到達して骨の切断を開始するときに、各アクチュエータ 21、22、23 のいずれかの方向に最大の移動量が利用可能になる。アクチュエータ 21、22、23 の 1 つまたは複数がいずれかの方向で利用可能な移動限界にほぼ到達した場合、手持ち部分 16 のわずかな動きでさえ、機器コントローラ 28 がツール 20 を所望の姿勢に保てず、不正確な切断が行われる可能性がある。場合によっては、以下でさらに説明するように、これが発生すると（例えば、アクチュエータ 21、22、23 の 1 つまたは複数が移動制限または閾値に達したとき）、機器コントローラ 28 は、トリガーやフットスイッチなどの入力装置が作動するかどうかにかかわらず、駆動モータ M を非起動／無効化することができる。機器コントローラ 28 は、（例えば、入力装置を介して）駆動モータ M を作動させることができる動作状態と、既知の座標系でツール 20 の姿勢、手持ち部分 16 の姿勢、およびツール 20 の命令姿勢ベースの、駆動モータ M の起動を引き起こす入力装置によって送信される入力信号を遮断する無効状態との間で機器 14 を自動的に切り替えることができる。手持ち部分 16 の姿勢は、各アクチュエータ 21、22、23 の測定位置などのアクチュエータ情報に基づくことができる。このように機器 14 を制御することにより、機器コントローラ 28 は、ツール 20 の姿勢、手持ち部分 16 の姿勢、およびツール 20 の命令姿勢が、ツール 20 の命令姿勢がアクチュエータ 21、22、23 の範囲外にあるという状態を示している場合に、モードを自動的に切り替えるように構成されている。言い換えれば、アクチュエータ 21、22、23 は、この状態が存在する場合、ツール 20 を所望の平面上に効果的に維持することができない。

【0170】

オンターゲットモードでは、視覚的インジケータ 201、202、203 は、集合的に、手持ち部分 16 の所望の動き、およびツール 20 を所望の姿勢に保つためのアクチュエータ 21、22、23 の対応する動きを表す。例えば、第 1 の視覚的インジケータ 201 が、手持ち部分 16 の動きが必要であることを示すために動作される場合、視覚的インジケータ 201、202、203 は、アクチュエータ 21、22、23 の 1 つまたは複数がそのホーム位置から遠すぎ、手持ち部分 16 を動かす必要があることを表す。別の例として、ツール 20 が所望の姿勢にあるが、アクチュエータ 21、22、23 の 3 つすべてがほぼ完全に収縮されている場合、すなわち、それらが一方向で利用可能な最大移動限界に達した場合、機器コントローラ 28 はガイダンスアレイ 200 および／またはディスプレイ画面を動作し、すべてのアクチュエータ 21、22、23 がそれらのホーム位置に向かって延びるように、手持ち部分 16 が概して z 軸方向に下げられる必要があることをユーザに指示する。

【0171】

あるいは、いくつかの例示的なモードでは、第 1 の視覚的インジケータ 201 が動作されて、手持ち部分 16 の動きが必要であることを示すとき、視覚的インジケータ 201 は、アクチュエータ 21、22、23 のうちの 1 つまたは複数が、命令位置に対して各アクチュエータ 21、22、23 の動作範囲外にあり、手持ち部分 16 を動かす必要があることを表す。別の例として、ツール 20 が所望の姿勢にあるが、アクチュエータ 21、22、23 の 3 つすべてがほぼ完全に収縮されている場合、すなわち、それらは一方向でアクチュエータの制限に達しているか、または利用可能な総移動距離内の特定の運動範囲内に

ある場合、機器コントローラ 28 は、視覚的インジケータ 201、202、203 を動作して、すべてのアクチュエータ 21、22、23 が命令位置に対してそれらの動作範囲内にあるように、手持ち部分 16 を概して z 軸方向に下降または上昇する必要があることをユーザに指示する。

【0172】

いくつかの構成では、ユーザが機器 14 を動かすと、機器コントローラ 28 は、機器 14 の動作モードを変更することができ、特定の制御構成を備えた手持ち部分 16 に対してツール 20 の少なくとも 1 つの動作パラメータを能動的に制御する。動作パラメータは、手持ち部分に対するツール支持体の動きに関連する制御変数であり得る。例えば、動作パラメータは、ツール支持体の運動挙動に関連する速度、加速度、トルク、またはそれらの組み合わせであり得る。いくつかの例では、機器コントローラ 28 は、速度、加速度、またはその両方に関連する動作パラメータの値を変更することができ、その結果、機器 14 は、機器 14 の所望の姿勢に到達または維持するために、ツール支持体 20 をより速くまたはよりゆっくりと調整する。速度は、ツール支持体が特定の方向に位置を調整する率に関係し得る。アクチュエータの加速度は、手持ち部分 16 に対してツール支持体 18 が調整される位置間の速度の変化率に関係し得る。このような変化は、以下に依存する。すなわち、(i) TCP が配置されている領域、(ii) 既知の座標系で骨に関連する基準位置に対する機器 14 (例えば、TCP の) の位置、(iii) 距離パラメータ、(iv) 手持ち部分 16 に対するツール支持体 18 の姿勢、(v) またはそれらの組み合わせ。ツール支持体の加速度を制御すると、ツール支持体を所望の平面に引き付けるために使用される力および／またはトルクに影響を与える可能性がある。各アクチュエータのモータ電流および／または電圧は、手持ち部分に対するツール支持体の動作パラメータを調整するように制御することができる。

【0173】

距離パラメータは、ナビゲーションシステム 32 を用いて、1 つまたは複数のトラッカ 54、56 などの骨に関連付けられた基準位置に対する、ツール 20、ツール支持体 18、手持ち部分 16、またはそれらの組み合わせに関連付けられた 1 つまたは複数のトラッカ 52 の位置を特定し、機器コントローラ 28 を用いて、ツール 20、ツール支持体 18、手持ち部分 16、またはそれらの組み合わせの方向、距離、または両方を決定することによって決定することができる。距離パラメータは、大きさ、距離、またはその両方であり得る。

【0174】

機器コントローラ 28 は、アクチュエータ 21、22、23 を制御して、ツール 20 と手持ち部分 16 との間の動作パラメータの第 1 の値で、ツール 20 を所望の平面に向かって動かすことができる。次に、機器コントローラ 28 は、速度、加速度、またはその両方が第 1 の値と第 2 の値との間で異なるように、動作パラメータの第 2 の値でツール 20 を所望の平面に向かって動かすことができる。例えば、図 61A および 61B に示されるように、ユーザが機器 14 を骨に関連する基準位置に近づけると、機器コントローラ 28 は、ナビゲーションシステム 32 によって提供される距離パラメータを使用して、1 つまたは複数の動作パラメータ (例えば、速度、加速度) を調整して、様々な動作パラメータ値 (つまり、動作パラメータの第 1 の値と動作パラメータの第 2 の値) で、手持ち部分 16 に対してツール 20 を所望の平面に向かって動かす。

【0175】

ツール 20 が骨を切断することができる距離内にある前に、速度および／または加速度が比較的低下するように、手持ち部分に対するツール支持体の速度、加速度、または両方を制御することによって (図 61A)、動きが急激でなくなり、加えられる力／トルクを少なくすることができる。これは、手持ち部分 16 の姿勢を補償するためにアクチュエータ 21、22、23 を動かすことによって方向感覚を失う潜在的な作用を軽減すること、および／またはユーザの手にかかる力を減らすことができる。次に、骨を切断できる距離内にある場合 (図 61B)、コントローラは、速度および／または加速度が比較的高く、

正確な切断を保证するように手持ち部分に対してツール支持体の速度、加速度、または両方を制御するように動作する。

【0176】

図61Aを参照すると、TCPの位置が、骨(RL)に関連する基準位置から第1の距離パラメータ(DP1)離間している場合、機器は、ツール支持体が手持ち部分に対して動かされるように制御される(例えば、第1の値の動作パラメータ)。これは、TCPがまだ骨の表面からかなり離れているためである。

【0177】

図61Bを参照すると、TCPの位置が、骨(RL)に関連する基準位置から第2の距離パラメータ(DP2)離間している場合、機器14は、第2の値の動作パラメータが利用されるように制御される。第1の値は第2の値よりも低くなっている。例えば、動作パラメータが加速度の場合、第1の値の加速度は第2の値の加速度よりも低くなる。

【0178】

アクチュエータ21、22、23の加速度を制御することにより、機器コントローラ28は、モード遷移が起こっていることをユーザに示すように機能することができる。これは、アクチュエータ21、22、23の加速度の大幅な変更が、機器14の重心を変更させ、ユーザが経験する力の感覚となるためである。一例では、骨上の基準位置に対するツール20の距離パラメータまたは姿勢に基づいてアクチュエータ21、22、23の加速度を変更することによって、機器14は、ユーザに力感覚を提供して、アクチュエータ21、22、23は、機器14が基準位置に近づくにつれて(すなわち、距離パラメータの大きさがより小さい)、異なる挙動をすることを示し得る。

【0179】

機器がモード、状態、またはその両方の間で変化するとき、ガイダンスアレイ200、視覚的インジケータ201、202、203、機器14、またはロボットシステム10の任意の部分は、モード、状態、またはその両方の間の遷移を信号で伝えるインジケータを含み得る。インジケータは、触覚インジケータ、視覚的インジケータ、聴覚インジケータ、またはそれらの組み合わせであり、ユーザに遷移を通知することができる。例えば、Quaidらの米国特許第10,231,790号に記載されているような触覚ガイダンスインジケータを使用することができる。別の例では、Bozungの米国特許第9,707,043号に記載されているものと同様の、駆動モータMの動作の変更などの聴覚インジケータを組み込むことができる。他のインジケータも考えられる。

【0180】

いくつかの構成では、ロボットシステム10は、2つの主要な動作領域—領域IVおよび領域Vを有すると理解される。ツールが領域IVに入るとき、機器14は、領域Iのオンターゲットモードと同様に制御および応答することができる。領域Vでは、機器コントローラ28は、ユーザをガイダンスアレイ200によってガイドして、ツール20がモータMを無効にした状態でターゲット面に向かって移動するように、機器14の手持ち部分16を動かす間に、アクチュエータ21、22、23を特定の位置に保持し得る。領域Iを参照して説明した機能はいずれも、領域IVで使用でき、その逆も可能である。

【0181】

いくつかの構成では、機器コントローラ28は、手持ち部分16に対してツール支持体18およびツール20の速度、加速度、または両方を制御することができ、領域Vから領域IVに動く間にそのような動作パラメータの値を変更することができる。これは、領域Vから領域IVに動きながら、アクチュエータ21、22、23の1つまたは複数の動作パラメータの値を変更することによって達成することができる。領域IVは、骨に関連する基準位置に直ぐ隣接してそれを囲んで配置され、領域Vは領域IVの外側の空間である。この例では、動作パラメータの1つまたは複数の値は、ツール20が領域IVに入るときに、手持ち部分16に対して所望の平面に向かうツール20の速度、加速度、または両方が漸進的に調整されるように調整され、一方、ガイダンスアレイ200は、ターゲット上に留まるように手持ち部分16を調整するようにユーザに指示する。言い換えれば、機

器が領域ⅠⅤに近づくと、アクチュエータ２１、２２、２３は、手持ち部分１６に対するツール支持体１８の加速度が、機器１４が最初に領域Ⅴに入ったときよりも大きくなるように制御される（骨の基準位置に対するツール２０の位置に基づいて、または計算された距離パラメータに基づいて決定される）。

【０１８２】

領域ⅠⅠのオンターゲットモードにある間、機器コントローラ２８は、ツール２０の動作を可能にすることができ、例えば、機器１４のユーザインターフェースＵＩのトリガーまたはフットスイッチは、ユーザが駆動モータＭの動作を開始／停止することを可能にするように動作可能である。場合によっては、入力装置は単にオン／オフ機能を可能にするが、機器コントローラ２８は駆動モータＭの速度を自動的に制御する。他のバージョンでは、駆動モータＭの速度を制御するためにユーザの入力が考慮される場合がある。いくつかの例では、駆動モータＭはオンターゲットモードで動作しているが、ツール２０が所望の姿勢からスナップ解除すると無効になる。

【０１８３】

いくつかのバージョンでは、ＴＣＰが領域ⅠまたはⅠⅤに到達するまで、駆動モータＭが無効にされ得る。いくつかの例では、機器コントローラ２８は、アクチュエータ２１、２２、２３を制御して、ツール２０を所望の平面に向かって移動させ、さらに、駆動モータＭのモータパラメータを、第１の値が第２の値とは異なるように、第１の値および第２の値で制御する。モータパラメータは、異なるモード中のツール２０の挙動に影響を与える駆動モータＭの制御変数であり得る。例えば、モータパラメータは、速度（例えば、毎分回転数（ＲＰＭ））、トルク、動作時間、電流、加速度、またはそれらの組み合わせである。機器コントローラ２８は、ツール２０の位置および骨に関連する基準位置の位置に基づいて、動作を第１の値から第２の値に変更する。別の例では、機器コントローラ２８は、アクチュエータ２１、２２、２３を制御して、ツール２０を所望の平面に向かって移動させ、さらに、駆動モータＭのモータパラメータを、第１の値が第２の値とは異なるように、第１の値および第２の値で制御する。機器コントローラ２８は、距離パラメータに基づいて、動作を第１の値から第２の値に変更するように構成される。モータパラメータは、モータ速度またはモータトルクであり得る。

【０１８４】

一実装形態では、モータパラメータはモータ速度であり、機器コントローラ２８は、距離パラメータが第１の大きさと方向を有している場合の第１の速度、および距離パラメータが第１の大きさと異なる第２の大きさと方向を有している場合の第２の速度で、モータ速度が制御されるように動作する。これは、第１の大きさが１０ｃｍ、第２の大きさが２ｃｍ、第１のモータ速度が０ｒｐｍ、第２のモータ速度が１６０００ｒｐｍ、方向が骨から離れる方向である場合として実現できる。これは、機器１４が所定の座標系に対して所与の位置にある場合にも具現化できる。これは、機器１４が切断される骨に比較的近い場合にのみ、駆動モータＭの起動をもたらし得る。第１のモータ速度は、モータが停止しているときであり、第２のモータ速度は、所与のツールにとって所望の動作速度であり得る。

【０１８５】

機器コントローラ２８は、ユーザが領域Ⅰ内へのＴＣＰの移動を継続する間、機器１４をオンターゲットモードで動作し続け、最終的に、ツール２０の遠位端が図２７に示すように、治療が実行される場所で解剖学的構造の表面を貫通する。領域Ⅰは、「治療」または「切除」領域と呼ばれることもある。いくつかのバージョンでは、領域Ⅰに入ると駆動モータＭが動作可能になり、その結果、ユーザは、トリガー、フットスイッチ、または他の入力装置を押して、組織を治療（例えば、切断）するためにツール２０を駆動することができる。特に、機器コントローラ２８は、駆動モータＭの動作を可能にする（例えば、コンソール３３は、駆動モータＭが作動可能であることを示す関連する指示パケットを駆動モータコントローラに送信する）。この時点で、ユーザは、トリガー、フットスイッチを押すか、または別の入力装置を作動させて、駆動モータＭを作動させる。したがって、

ツール 20 は、例えば、ターゲット部位で組織を切除するために通電される。いくつかのバージョンでは、駆動モータ M は、ユーザからの入力を必要とせずに、機器コントローラ 28 によって直接制御され得る。例えば、ツール 20 は、領域 I 内にあることに基づいて自動的に作動される。

【0186】

領域 I においてオンターゲットモードにあるとき、機器コントローラ 28 は、アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれの回転子位置を監視し、アクチュエータ 21、22、23 のいずれかがソフトストップ、ハードストップ、またはその他の事前規定された閾値（ソフトストップへの移動の 90% など）の 1 つに到達したときに駆動モータ M を無効にすることができる。この閾値は変更可能である。上記のように、機器コントローラ 28 は、既知の座標系でツール 20 の姿勢、手持ち部分 16 の姿勢、およびツール 20 の命令姿勢に基づいて、駆動モータ M を作動させることができる動作状態（例えば、入力装置を介して）と、入力装置によって送信される、駆動モータ M を起動させる入力信号を遮断する無効状態との間で、機器 14 を自動的に切り替えることができる。手持ち部分 16 の姿勢は、各アクチュエータ 21、22、23 の測定位置などのアクチュエータ情報に基づくことができる。このように機器 14 を制御することにより、機器コントローラ 28 は、ツール 20 の姿勢、手持ち部分 16 の姿勢、およびツール 20 の命令姿勢によって、ツール 20 の命令姿勢がアクチュエータ 21、22、23 の範囲外の状態にあることが示されている場合に、モードを自動的に切り替えるように構成される。言い換えれば、アクチュエータ 21、22、23 は、この状態にある場合、ツール 20 を所望の平面上に効果的に維持することができない。駆動モータ M が無効にされたとしても、アクチュエータ 21、22、23 は、依然として、ツール 20 の所望の姿勢を可能な限り維持するように動作することができる。

【0187】

これが起こったときにツール 20 の TCP が領域 I 内にあった場合、機器コントローラ 28 は、所望の姿勢からツール 20 のスナップを解除し、再ホーミングすることによって、その制限または閾値に達したアクチュエータの 1 つに応答する。しかしながら、領域 I では、特にツール 20 がすでに組織に係合している場合、所望の姿勢からツール 20 のスナップを解除することは望ましくない可能性がある。代わりに、領域 I では、視覚的インジケータ 201、202、203 は、ユーザに、アクチュエータ 21、22、23 のどれが駆動モータ M 動作の許容制限／閾値の外にあるかを知らせる状態をとることができる（例えば、視覚的インジケータ 201、202、203 は、点滅／明滅し始め、色、強度などを変更し始める）。すべてのアクチュエータ 21、22、23 が再び所望の姿勢に到達できるように（例えば、閾値量の移動が可能である）ユーザが手持ち部分 16 を動かすと、視覚的インジケータ 201、202、203 は通常の動作を再開することができる。もちろん、いくつかのバージョンや特定の状況では、依然として領域 I でナップ解除が発生する可能性がある。

【0188】

いくつかのバージョンでは、治療が開始されると（例えば、組織が切断されていると）、アクチュエータ 21、22、23 のうちの 1 つまたは複数がそれらの動作制限に達したとしても、駆動モータ M は動作し続けることができる。これは、例えば、骨に切り込んでいるときに発生する可能性があり、骨自体が、実質的に所望の平面上で切断を継続するための適切な切断ガイドを提供する。この場合、アクチュエータ 21、22、23 はそれらの現在の位置に保持され、および／または仮想境界 184 が無効化されて制御システム 60 はもはやツール 20 を所望の姿勢に保つように動作しない。上記のように、この機能の別の潜在的な具体化は、例えば、基準位置に対して骨内に入り込む方向、および骨上の基準位置に対するツール 20 の大きさ（すなわち、骨内に入り込んだ 2 cm、3 cm、4 cm）などの距離パラメータを決定することである。この決定に基づいて、機器コントローラ 28 は、ツール 20 が、距離パラメータに基づく動作パラメータの第 1 の値および距離パラメータに基づく動作パラメータの第 2 の値で、手持ち部分 16 に対して所望の平面に

向かって移動するように、アクチュエータ 21、22、23 を制御することができる。動作パラメータは速度であり、距離パラメータの大きさが 3 cm 未満の場合は第 1 の値が 0（または 1 ~ 5 m / s）より大きく、距離パラメータの大きさが 3 cm より大きく、方向が骨に向かっている場合は第 2 の値が 0 になり得る。

【0189】

図 63A および 63B を参照すると、切り口が確立されると、ユーザが患者の解剖学的構造（例えば、切断される骨）に関連しているターゲット切断面を切断するときに、機器コントローラ 28 は、手持ち部分 16 に対するツール 20 の 1 つまたは複数の動作パラメータの値を自動的に調整することができる。一例では、動作パラメータは、ツール 20 が所望の平面に向かって動くときの、手持ち部分 16 に対するツール 20 の加速度である。機器コントローラ 28 は、骨に関連する基準位置に対するツール 20 の姿勢（例えば、TCP から）から決定された距離パラメータ（例えば、方向、大きさ）に基づいて、アクチュエータ 21、22、23 の調整速度を自動的に変更することができる。ツール 20 の姿勢は、ガイダンスアレイ 200 がユーザに手持ち部分 16 を動かして所望の平面を維持または修正するように指示している間、維持され得る。

【0190】

図 63A を参照すると、鋸刃（TCP）の位置が、第 1 の距離パラメータ（DP1）で骨（RL）に関連する基準位置から離間している場合、機器は、ツール支持体が手持ち部分に対して動くように制御され、例えば、ゼロより大きい大きさの動作パラメータが使用される。これは、切り口がまだ十分に確立されていないためである。

【0191】

図 63B を参照すると、鋸刃（TCP）の位置が、第 2 の距離パラメータ（DP2）で骨（RL）に関連する基準位置から離間している場合、機器は、大きさがゼロの動作パラメータが利用されるように制御されるか、またはそうでなければ、手持ち部分に対するツール支持体の動きが停止されるように制御される。これは、切り口が十分に確立されているためである。

【0192】

ツール 20 が切り口を確立すると、機器コントローラ 28 は、動作パラメータの値をゼロに設定し、アクチュエータ 21、22、23 が、手持ち部分 16 に対してツール支持体 18 を調整するのを停止することができる。ツール 20 が骨内に切断経路を確立すると、ツール 20 は屈曲してコースから外れ、手持ち部分 16 に押し戻すようにすることができる。ユーザは、この力を押し戻しとして認識し得る。手持ち部分の「押し戻し（push-back）」または「ファイティング（fighting）」という感覚は、ツール 20 が切断スロット 290 内にある間にアクチュエータ 21、22、23 を制御する機器コントローラ 28 によって作り出される。したがって、アクチュエータを制御して所望の平面に向かって動かすことによって引き起こされる唯一の動きは、手持ち部分 16 の動きである。これは、機器コントローラ 28 が、手持ち部分 16 に力を加えさせ、それが次にユーザの手に伝達されることを意味する。これらの力は、切断プロセス中に疲労および／または不快感をもたらす可能性がある。動作パラメータを変更することにより、ツール 20 は、切断においてさらに少ない抵抗を提供することができる。動作パラメータ値を 0 に設定するか、または、ツール支持体に対する手持ち部分の動きを停止することで、ユーザは、ツール 20 が切断スロット 290 内にあり、切断スロット 290 が自然な切断ガイドとして機能するときに、手持ち部分 16 を苦勞して扱うことなく切断が終了したことに気づくことができる（図 63A ~ 63B を参照）。より具体的には、機器コントローラ 28 は、速度、加速度、またはその両方に関連する動作パラメータの値を能動的に変更することができ、その結果、ツール 20 がさらに標的の解剖学的構造に入り、アクチュエータ 21、22、23 は、切断が最初に開始されたときの速度および／または加速度よりも比較的低い速度および／または加速度でターゲット面に向かって調整し、骨に切り込まれた経路をガイドとして利用して、ツール 20 が中央まで切断すると、最終的にアクチュエータの動きを停止する。言い換えれば、ツール支持体 18 は、切断が最初に開始されたとき、よ

り大きな速度および／または加速度で動き、次に、進行後の速度および／または加速度で、基準位置に対して閾値距離だけ骨内に進行した。アクチュエータ 21、22、23 がツール支持体 18 を調整するのを停止することについて、動作パラメータをゼロに設定することに関して説明されたが、アクチュエータ 21、22、23 は、アルゴリズムの運動制御の側面を停止するか、そうでなければ複数のアクチュエータ 21、22、23 の位置を凍結することなどによって、他の適切な制御ロジックでも停止できることを理解されたい。

【0193】

いくつかのバージョンでは、治療が開始されると、機器コントローラ 28 は、ツール 20 を所望の姿勢から離れて（例えば、仮想境界 184 の外側または外に）配置するユーザの能力を制限することができる。例えば、いくつかの実装形態では、ナビゲーションシステム 32 が、ツール 20 が所望の切断面から移動していることを示すとすぐに、機器コントローラ 28 は、駆動モータ M への通電信号の適用を直ちに終了し、ツール 20 が骨を削ることを防止し、軟組織の損傷を最小限に抑える。この機能のいくつかの実装形態では、所望の姿勢でのツール 20 の許容可能なミスアライメントは、切除の深さが増加するにつれて逆に変化する可能性がある。

【0194】

ナビゲーションシステム 32 はまた、切断の深さを監視することができる。いくつかのバージョンでは、切断の深さがターゲット深さの 0.1 から 2.0 mm の間であると決定されると、機器コントローラ 28 は駆動モータ M の動作を停止することができる。いくつかの例では、機器コントローラ 28 は駆動モータ M の動作を停止せず、駆動モータ M のユーザ制御による開始、停止、および／または速度制御に依存する。いくつかの構成では、切断される解剖学的特徴の表面（例えば、骨の表面）が基準点、仮想境界、またはその両方として機能し、機器コントローラ 28 に以下の要素の動作モードまたは挙動を変更させる。すなわち、(i) 機器 14、(ii) 1 つまたは複数のアクチュエータ 21、22、23、(iii) ガイダンスアレイ 200、(iv) 1 つまたは複数の視覚的インジケータ 201、202、203、(v) またはそれらの組み合わせ。いくつかの例では、機器コントローラ 28 は、第 1 の値が第 2 の値とは異なるように、駆動モータ M のモータパラメータを第 1 の値および第 2 の値で制御する。機器コントローラ 28 は、ツール 20 の位置および骨に関連する基準位置の位置に基づいて、または計算された距離パラメータに基づいて、動作を第 1 の値から第 2 の値に変更する。ツール 20 が骨の切断に進むと、機器コントローラ 28 は、骨に関連する基準位置に対するツール 20 のナビゲーションデータを使用して、駆動モータ M を起動させることができる。さらに、機器コントローラ 28 は、ツール 20 が骨に関連する基準点に関連する特定の距離パラメータ値または位置に到達したに基づいて、駆動モータ M をオフにすることができる。場合によっては、ユーザは、外科的処置を実行している間、ツール 20 の感覚を失う可能性がある。ツール 20 の深さに基づいて駆動モータ M を制御することにより、ユーザは、どの程度深く切断すべきかをより正確に制御することができ、切断領域の周りにある靱帯および動脈との干渉を防ぐことができる。

【0195】

いくつかの例では、機器コントローラ 28 が駆動モータ M のパラメータを変更することによって動作モードを変更すると、機器 14、入力装置、ナビゲーションシステム 32、機器コントローラ 28、またはそれらの組み合わせは、モードが変更されたことを、可聴表示、触覚表示、またはその両方で提供することができる。一例では、入力装置はフットスイッチであり、機器のモードが変更され、駆動モータ M の速度を制御すると、フットスイッチが振動する。別の例では、Bozong の米国特許第 9,707,043 号の内容に記載されているように、モードが変更されて駆動モータ M を加速または減速すると、ユーザは、駆動モータ M のモータ速度の変化を、音量、ピッチ、振動、またはそれらの組み合わせなど、機器のモードが変更されたことを示す可聴表示によって知覚することができる。

【0196】

ユーザは、現在の治療の進行に基づいて、ツール 20 をオンターゲットモードで所望の姿勢に保つことが困難であると考えるときはいつでも（例えば、切断が面外に進んでいるように見える）、ツール 20 を領域 I I に引き戻し、所望の姿勢から離して、ツール 20 のスナップ解除および再ホーミングを引き起こし、アプローチモードで再開し得る。ユーザはまた、ツール 20 が治療中に所望の姿勢にとどまることを確実にするために、例えば、骨の切断が継続する場合、最終的にツール 20 を所望の姿勢から引き離す軌道にツール 20 が捉えられないようにするために、ツール 20 を操作して小さな往復運動でツール 20 を解剖学的構造に繰り返し出し入れすることができる。言い換えれば、ツール 20 のこれらの往復運動は、所望の姿勢からのわずかな逸脱を補正して、例えば、所望の切断面から逸脱する切断面上で、ツール 20 が骨に捕捉されるのを防ぐ。

【0197】

いくつかの例では、ツール 20 が現在の治療（例えば、切断）の進行から収縮されるとき、機器コントローラ 28 は、ツール 20 を手持ち部分 16 に対して現在の姿勢に維持するために、複数のアクチュエータ 21、22、23 のそれぞれを制御することができるため、スナップ解除および再ホーミングが発生しない。別の言い方をすれば、ユーザは、ツール 20 を切断から収縮することができ、アクチュエータ 21、22、23 は、領域から領域に移動するにもかかわらず、手持ち部分 16 に対してツール 20 の姿勢を保持し、その結果、ユーザが手のグリップと方向を同じにして最初の切断に戻ることができる（図 62A～62C を参照）。図 62A は、ある姿勢で領域 I V にある機器 14 を示し、図 62B は、機器 14 が領域 V に入ったときと同じ姿勢を維持している機器 14 を示す。図 62C は、図 62A と同じ姿勢で領域 I V に戻る機器 14 を示す。しかし、図 62B に関しては、領域 V に配置された場合、機器が領域 I V に再び入ったときに領域 I V から最初に回避したときと同じ姿勢をとる限り、任意の適切な姿勢をとることができる。

【0198】

現在の姿勢は、ホーム以外の位置とすることが考えられ、すなわち、コントローラは、アクチュエータ 21、22、23 の位置をホーム位置以外の位置に維持することができる。ユーザは、機器 14 がターゲット骨からかなりの距離にあるときなど、アクチュエータが不必要な作動および動きを防止し、アクチュエータが動きによって過度の熱を発生するのを防ぐ位置にアクチュエータを維持することができる。いくつかのバージョンでは、ユーザは、入力装置を作動させ、機器コントローラ 28 がツール姿勢を所定の位置に保持または凍結するように命令するフリーハンドモードを選択することによって、このツール挙動を選択することができる。あるいは、いくつかの例では、機器コントローラ 28 は少なくとも、機器コントローラ 28 がアクチュエータ 21、22、23 のそれぞれを自動的に制御して、手持ち部分 16 の姿勢に対してツール 20 の現在の姿勢を維持する第 1 のモードと、コントローラがアクチュエータ 21、22、23 のそれぞれを自動的に制御し、ツール 20 が手持ち部分 16 の姿勢に対して所望の平面に向かって能動的に移動する第 2 のモードで、機器 14 の動作を制御する。機器コントローラ 28 は、既知の座標系でツールの位置および骨に関連する基準位置の位置に基づいて、第 1 のモードから第 2 のモードに自動的に切り替える。機器コントローラ 28 は、機器 14 の駆動モータ M を制御し、骨に関連する基準位置の位置とツール 20 の姿勢に基づいて、モータ M を作動させることができる第 1 の状態と、モータ M を作動させることができない第 2 の状態とを自動的に切り替えることができることも企図される。機器コントローラ 28 は、ナビゲーションシステム 32 によって決定されるツール 20 の姿勢および骨に関連付けられる基準位置に基づいて、ツール 20 が切り口から取り除かれると、機器 14 がアクチュエータ 21、22、23 の動きを能動的に制御する状態からフリーハンドモードに自動的に切り替えることができる。それにより、ユーザは、快適なグリップ、精通した解剖学的構造、予期しない解剖学的構造、またはそれらの組み合わせに対する制御、利便性を維持するために、ツール 20 に対する手持ち部分 16 のグリップを同じにしたままで手順を再開できる。あるいは、機器コントローラ 28 は、ツール 20 の位置および骨に関連する基準位置の位置に基づいて距離パラメータ（例えば、距離、大きさ）を決定することに基づいて、第 1 のモードと第

10

20

30

40

50

２のモードとの間でモードを切り替えるように構成され得る。距離パラメータは、方向、大きさ、またはその両方であり得る。場合によっては、距離パラメータが、骨から離れる方向を有し、大きさが第１の閾値よりも大きい、例えば１２ｃｍの場合、コントローラは第２のモードに切り替わることができる。

【０１９９】

いくつかのバージョンでは、機器コントローラ２８は、ツール２０が手持ち部分１６の姿勢に対して所望の平面に向かって能動的に移動するように、機器コントローラ２８がアクチュエータ２１、２２、２３を自動的に制御するモードと、手持ち部分１６の姿勢に対して現在の姿勢でツール２０を維持するように機器コントローラ２８が自動的に制御するモードとの間で切り替わることができる。ユーザは、アクチュエータ２１、２２、２３の動きを（任意の領域で）フリーハンドモードで凍結して、ユーザが何らかの治療（例えば、膝蓋骨または解剖学的構造の他の部分を切断する）を実行できるようにすることができる。アクチュエータ２１、２２、２３がフリーハンドモードでそれ以上の動きから凍結されると、機器１４は、手持ち部分１６に対してツール支持体１８が動くことなく、従来の切断機器とほとんど同じように挙動する。仮想境界１８４はまた、フリーハンドモードで非アクティブ化される。フリーハンドモードは、任意の適切なユーザ入力装置（例えば、押しボタン、フットスイッチなど）の任意の適切な入力装置によって連動させることができる。

【０２００】

さらに、機器コントローラ２８、ユーザ、またはその両方は、ナビゲーションデータ、アクチュエータデータ、駆動モータデータ、またはその組み合わせに基づいて、自動的に、入力装置を介して手動で機器１４をモード間および挙動間で切り替えることができると考えられる。場合によっては、ユーザは、機器を特定の位置（手持ち部分に対するツール支持体）に保持する必要があると判断し、機器コントローラを入力装置でオーバーライドすることができる。

【０２０１】

いくつかの例では、機器コントローラ２８は、１つまたは複数の入力を利用して、１つまたは複数の出力を決定することができる。１つまたは複数の入力は、患者トラッカー５４、５６によって決定された骨の位置を含み、例えば、基準位置、ツール支持体１８上のトラッカー５２によるツール２０のツール中心点ＴＣＰ、手持ち部分１６の姿勢、ツール２０の命令姿勢、距離パラメータ、アクチュエータ情報（命令位置、現在位置、過去位置など）、フットスイッチまたはタッチスクリーンからの入力信号、あるいはそれらの組み合わせである。機器コントローラ２８の１つまたは複数の出力は、駆動モータＭのモータパラメータの変更を含み、加速度または速度の変更を含むツール支持体の動作パラメータの調整は、境界制御をオフにし、手持ち部分１６に対するツール２０およびツール支持体１８を保持または凍結し、ホーミングモードを起動し、またはそれらの組み合わせを行い得る。入力の任意の適切な組み合わせを、任意の適切な出力とともに利用することができる。

【０２０２】

様々な動作モードのそれぞれは、他の動作モードのいずれかと組み合わせて使用できることが理解される。動作モードは、機器コントローラ２８によって決定され、機器１４によって実行される、動きがないことを含む任意の制御された動きであり得る。例えば、機器コントローラ２８は、ツール支持体１８がツール２０を調整する速度、加速度、またはその両方を制御し、図２４Ａ～２４Ｃ、図２５Ａ～２５Ｃ、図２６Ａ～２６Ｂ、図６１Ａ～６１Ｂ、図６２Ａ～６２Ｃ、図６３Ａ～６３Ｂ、またはそれらの組み合わせの１つまたは複数に関して説明したように、ユーザを所望の姿勢にガイドすることができる。一例では、図２４Ａ～２４Ｃに記載されている制御モードは、図６３Ａ～６３Ｂの制御モードと組み合わされており、機器１４は、図２４Ａ～２４Ｃの機器制御に従って切開を行う前に領域ⅠⅠ、ⅠⅠ、およびⅠで制御され、切り口内に入ると、図６３Ａ～６３Ｂに関して説明したように制御される。さらに、機器の挙動、アクチュエータの挙動、駆動モータの挙

動、またはそれらの組み合わせなど、記述された任意のモードまたは挙動は、それ自体、患者、座標系、仮想位置、またはそれらの組み合わせに対する機器 14 の任意の領域または位置と組み合わせることができる。

【0203】

全体を通して説明されるガイダンスアレイおよび／または視覚的インジケータ 201、202、203 は、任意の制御モードまたは挙動制御を備えた、任意の外科用ツールおよび任意の機器 14 のアクチュエータ構成で理解されたい。例えば、ガイダンスアレイ 200、視覚的インジケータ 201、202、203、またはその両方は、現在説明されている構成のいずれかを備えた制御モードおよび機器挙動のいずれかとともに使用され得る。一例では、ガイダンスアレイ 200、視覚的インジケータ 201、202、203、またはその両方は、少なくとも図 35、図 45、図 57、図 59、図 60、図 65、図 66 に示される構成に関して説明された機器 14 または機器 14 の任意の構成で理解され得る。さらに、ガイダンスアレイ 200 および／または視覚的インジケータ 201、202、203 は、ガイダンスアレイ 200 および／または視覚的インジケータ 201、202、203 がロボットシステム 10 においてツール 20 および／または手持ち部分 16 を、所望の姿勢、軌道、方向、位置、平面、またはそれらの組み合わせに動かすのに必要な移動量を示すことを可能にする構成を包含すると理解され得る。任意のガイダンスアレイ 200 および／または視覚的インジケータ 201、202、203 を、機器の任意の構成とともに使用して、本出願を通して説明されるモードのいずれかにおいて機器 14 を位置決めする、動かす、および／または調整する方法をユーザに信号で伝えることができる。ピッチ、ロール、および並進の変更は、例えば、仮想境界の 1 つまたは複数に関連している。ガイダンスアレイ 200 および／または視覚的インジケータ 201、202、203 は、異なるタイプのツールの位置決めを容易にすることができ、ツールは、ドリルまたはリーマー、ドライバ（ねじまたはピンの配置用）、バー、ピン、ガイドチューブなどが含まれるが、これらに限定されない。

【0204】

図 28 および 29 を参照すると、ロボット機器 14 の別のバージョンが示されている。このバージョンは、前に説明したものとはほぼ同じである。このバージョンでは、次のようになる。(1) フレックス回路 FC のルーティングは、それぞれのアクチュエータ 21、22、23 の旋回についての移動範囲を考慮してわずかに変更されている。(2) 加重エンドキャップ 208 がベース 74 に追加された。(3) グリップ 72 は、フレックス回路 FC の代替ルーティングおよび加重キャップ 208 の存在を考慮して変形されている。

【0205】

フレックス回路 FC のルーティングは、図 29 に最もよく示されている。図 30 および 31 は、機器 14 の残りの部分から隔離されたフレックス回路 FC および制御ハウジング 29 を示している。図 30 および 31 に示されるように、フレックス回路 FC は、フレックス回路アセンブリ 210 の一部を形成する。フレックス回路アセンブリ 210 は、一体に形成された複数の可撓性の細長い部分（または脚）を備えるか、または部分が別々に形成され、一緒に取り付けられる。可撓性の細長い部分は、ポリイミド、透明導電性ポリエステルフィルムなどのような 1 つまたは複数のフレキシブルプラスチック基板を含み得る。

【0206】

フレックス回路アセンブリ 210 は、フレキシブルプラスチック基板に取り付けられたおよび／または埋め込まれた電子回路を含む。電子回路は、視覚的インジケータ 201、202、203 と、制御ハウジング 29 内の回路基板 31 の 1 つまたは複数との間でデータおよび／または電力を送信するための 1 つまたは複数の回路を含み得る。電子回路はまた、アクチュエータ 21、22、23 と回路基板 31 の 1 つまたは複数との間でデータおよび／または電力を送信するための 1 つまたは複数の回路を含み得る。電子回路はまた、センサ S と回路基板 31 の 1 つまたは複数との間でデータおよび／または電力を送信するための 1 つまたは複数の回路を含み得る（またはセンサ S は、アクチュエータ 21、22、23 の一部と見なされ得る）。

【0207】

図29および32を参照すると、フレックス回路支持体212は、1つまたは複数のファスナを介してツール支持体18に取り付けられ、アクチュエータ21、22に延びるフレックス回路アセンブリ210の可撓性の細長い部分のうちの2つを固定する。特に、2つの可撓性の細長い部分は、アンカー214を介してフレックス回路支持体212に固定される。アンカー214は、フレックス回路支持体212の表面に対して可撓性の細長い部分を捕捉するように作用する。アンカー214は、示されている位置に可撓性の細長い部分を保持するためのファスナ、例えば、ねじなど、または任意の他の適切な形態のアンカーを含むことができる。

【0208】

特に図32を参照すると、フレックス回路支持体212は、アンカー214を受容するための1つまたは複数のアンカー取り付け位置216を規定する本体を備える。アンカー214によって捕捉される可撓性の細長い部分は、アンカー214が可撓性の細長い部分を本体に固定するための開口部220を備える（図30に示される開口部220を参照）。本体はまた、アクチュエータ21、22が動作中に動くときに可撓性の細長い部分への応力を低減する方法でそれらの可撓性の細長い部分をガイドするために、フレックス回路アセンブリ210の可撓性の細長い部分を受け入れるサイズの一对のノッチ218を規定する。

【0209】

図28、29、および33に示されるように、加重キャップ208は、1つまたは複数の材料、例えば、プラスチック、金属、セラミック、それらの組み合わせなどから形成され得る。加重キャップ208は、サイズ設定および／または成形され、ユーザの手に適切なバランスを提供するために機器14の重量分布をシフトすることができる質量を有することができる。加重キャップ208はまた、機器14の動作から生じるユーザの手への反動負荷に対処／改善するように設計され得る。

【0210】

図34に示されるグリップ72は、グリップ72の上部222が後方に向かって延びる角度の付いた下降部分224を有することを除いて、前に示され説明されたグリップ72とほぼ同じである。角度の付いた下降部分224は、ツール支持体18が手持ち部分16に対して特定の極端な姿勢にあるときに、フレックス回路FCを収容するためにグリップ72を後部に開く。

【0211】

図69に示されるグリップ72は、この描写においてトリガーとして構成された入力装置298を含むことを除いて、前に示され説明されたグリップ72／手持ち部分16と実質的に同様である。この構成の入力装置は、グリップ72上に配置され、ユーザが作動信号を機器コントローラ28に選択的に送信できるようにする。

【0212】

代替構成

図67および68は、ベース74を備えた手持ち部分16にアクチュエータを取り付けるための代替構成を示している。図67および68は、能動ジョイントの代替構成を提供する。能動ジョイントは、2つの前部アクチュエータ21、22を手持ち部分16のベース74に結合する一組の第2の能動ジョイント108を含み得る。示されているバージョンでは、第2の能動ジョイント108は、ジョイント支持体288で支持されている。第2の能動ジョイント108のそれぞれは、手持ち部分16のベース74に対して回転するように配置されたスィベルヨーク110を備える。各スィベルヨーク110は、スィベルヘッド286と、スィベルヘッド286から延び、ジョイント支持体286でベース74と旋回可能に係合する支柱114とを有する。ナット115は、支柱114の一端にねじ込み式に接続して、支柱114をベース74に捕捉する一方で、スィベルヨーク110が、それぞれのジョイント支持体286内で自由に回転できるようにする。

【0213】

10

20

30

40

50

第2の能動ジョイント108のそれぞれは、スイベルヨーク110の1つに旋回可能に結合されたキャリア116を備える。キャリア116のそれぞれは、スイベルヨーク110のポケット290に着座することによって、キャリア116が旋回軸PA（図14を参照）を中心にスイベルヨーク110に対して旋回することを可能にする対向するトラニオン118を備える。

【0214】

スイベルヘッド286は、トラニオン118を受け入れるように構成されたポケット290を規定する。キャリア116のトラニオン118は、ポケット290内に摺動され、その結果、トラニオン118およびキャリア116は、スイベルヘッド286内に配置される。カラー294は、トラニオン118と係合する旋回ハウジング292のいずれかの側に押し込まれる。キャリア116は、トラニオン118およびポケット290を介して、スイベルヨーク110に対して旋回することができる。スイベルヨーク110および関連するキャリア116の構成、すなわち、スイベル軸SAを中心にスイベルし、旋回軸PAを中心に旋回するキャリア116の能力のために、第2の能動ジョイント108は、ベース74に対して前部2つのアクチュエータ21、22の2自由度の動きを可能にする。

【0215】

能動ジョイントはまた、後部（第3の）アクチュエータ23を手持ち部分16のベース74に結合する第3の能動ジョイント124を含む。示されているバージョンでは、第3の能動ジョイント124は、ジョイント支持体79で支持されている。第3の能動ジョイント124は、ベース74のジョイント支持体288に固定された旋回ハウジング292を備える。

【0216】

第3の能動ジョイント124は、トラニオン118を介してポケット290内に旋回ハウジング292に旋回可能に結合されたキャリア116を備える。カラー294は、トラニオン118と係合する旋回ハウジング292の両側に押し込まれる。カラー294は、組み立て後、キャリア116が、旋回ハウジング292のポケット290に配置されているトラニオン118を介して旋回できるように構成されている。旋回ハウジング292および関連するキャリア116の構成、すなわち、関連するキャリア116が旋回軸PAを中心としてのみ旋回する（例えば、スイベルしない）能力のために、第3の能動ジョイント124は、ベース74に対して後部アクチュエータ23の動きの1自由度のみを可能にする。

【0217】

図35～45Bを参照すると、アクチュエータ21、22および回転アクチュエータ228を含むアクチュエータアセンブリ400、および手持ち部分16をツール支持体18に接続するための拘束アセンブリ24を利用する機器14の代替構成が示されている。アクチュエータ21、22は、手持ち部分16に対するツール支持体18のツール本体80の高さおよびピッチを制御するように構成される。回転アクチュエータアセンブリ228は、ツール支持体18と結合されて、ツール20に接続されたツールヘッド84のロール運動を制御し、ツール支持体18のツール本体80および手持ち部分16が互いに対してロールすることがないように拘束されている間に、ツール20の切断面を調整する。

【0218】

図35～37に見られるように、機器14は、ユーザによって保持される手持ち部分16を含む。手持ち部分16は、交換可能に手持ち式本体とも呼ばれる。手持ち式本体16は、ユーザが手持ち式本体16を把持することによって保持し、手で支持する機器の部分である。手持ち式本体16は、ユーザが制約なしに機器を動かして操作することを可能にする。ツール支持体18は、ツール20を支持するために手持ち式本体16に移動可能に結合されている。第1のアクチュエータ21および第2のアクチュエータ22は、ツール支持体18と手持ち式本体16との間に配置され、ツール支持体18と手持ち式本体16とを動作可能に相互接続する。アクチュエータ21、22は、手持ち式本体を二等分する長手方向平面に沿って整列されている。アクチュエータ21、22は、ツール支持体18

を2自由度で動かし、z軸の並進（手持ち部分16に対する高さ）および手持ち式本体16に対するピッチを変更するように構成される。受動リンケージ26を含む拘束アセンブリ24は、手持ち式本体16とツール支持体18との間に配置され、ツール支持体18と手持ち式本体16とをさらに相互接続する。拘束アセンブリ24は、ツール支持体18の動きを、手持ち式16に対して3自由度に拘束するように構成される。

【0219】

ツール支持体18は、手持ち式本体16に対するツール20のロール運動を制御するように構成された回転アクチュエータアセンブリ228を含む。図38Aおよび38Bは、回転アクチュエータモータ230、駆動部材232、およびリング歯車234を含む回転アクチュエータアセンブリ228を示している。回転アクチュエータモータ230は、ツール支持体18と連通しており、電気モータであり得る。駆動部材232は、回転アクチュエータモータ230に接続され、回転アクチュエータモータ230によって回転するように構成される。駆動部材232は歯車であり得る。駆動部材232は、特に図38Aおよび38Bに平歯車として示されている。回転アクチュエータアセンブリ228は、回転アクチュエータモータ230が作動するときに、駆動歯車232がツール支持体18および手持ち式本体16に対してリング歯車234に直接接触して回転するように構成され得る。リング歯車234は、動作中にツール20の逆駆動を防止するために、ウォームとして構成される駆動部材232と連通して接続されたウォーム歯車として構成され得る。図38Bに見られるように、回転アクチュエータアセンブリ228は、1つまたは複数の中間歯車236を含み得る。1つまたは複数の中間歯車236は、駆動歯車232とリング歯車234との間の駆動比を変更するように機能することができる。1つまたは複数の中間歯車236は、遊び歯車であり得る。例えば、1つまたは複数の中間歯車236は、駆動歯車232とリング歯車234との間の歯車比を増加させることができる。駆動歯車232は、中間歯車236と直接連通して、中間歯車236を回転させることができる（図38B）。中間歯車は、回転アクチュエータモータ230が作動されるときにリング歯車234が回転するように、リング歯車234と直接連通することができる。

【0220】

図39Aおよび39Bに見られる例示的な構成では、リング歯車234は、ツール支持体18のヘッド84と統合されている。ツールヘッド84は、リング歯車234と共に回転し、ツール20（例えば、鋸刃）の回転位置を調整および制御することができる。ツールヘッド84は、駆動モータMによって規定される軸を中心に回転することができる。図39Aは、本体80およびヘッド84が部分的に分解したツール支持体18を示し、ヘッド84上のリング歯車234と、ツール支持体18の本体80と連通している回転アクチュエータモータ230、駆動歯車232、および中間歯車236を示している。ヘッド84は、ツール20と係合し、リング歯車234が回転アクチュエータモータ230によって回転されるとき、ヘッド84およびツール20も回転し、手持ち式本体16およびツール支持体18に対するツール20のロール位置を調整するように構成され得る（例えば、図45Aおよび45B）。ヘッド84は、手持ち式本体16およびツール支持体18に対して360度回転するように構成され、ツール20を位置決めする。ツールヘッド84は、ツールヘッド84を所定の位置に保持するように構成された軸方向保持ナットによってツール支持本体80と接続することができる。他の構成では、ヘッド84は、360度以下、270度以下、180度以下、90度以下、または50度以下でロールすることができる。さらなる構成では、ツールヘッド84は、30度以上、90度以上、180度以上、270度以上、さらには360度以上ロールすることができる。いくつかの例では、ツールヘッド84は、ツールヘッド84が回転するのを妨げるハードストップを有し、ツール支持体18および手持ち部分16に対するツールヘッド84の回転範囲を制限することができる。

【0221】

図38A～38Cおよび40A～40Bに最もよく見られるように、回転アクチュエータモータ230は、ツール支持本体80の下に配置されている。回転アクチュエータモータ

10

20

30

40

50

タ 2 3 0 は、ツール支持本体 8 0 に取り付けられ、アクチュエータ 2 1、2 2 が手持ち式本体 1 6 に対するツール支持本体 8 0 の高さおよびピッチを調整するとき、ツール支持本体 8 0 と共に移動するように構成される。回転アクチュエータモータは、ツール支持本体 8 0 に対してリング歯車 2 3 4 と回転連通している駆動歯車 2 3 2 を回転させるように構成される。回転アクチュエータモータは、駆動歯車を回転させ、続いて、ツールヘッド 8 4 に接続されているリング歯車 2 3 4 を回転させ、リング歯車 2 3 4 およびツールヘッド 8 4 をツール支持本体 8 0 に対して回転させる。いくつかの構成では、回転アクチュエータモータ 2 3 0 は、ツール支持本体 8 0 に統合され得る。いくつかの構成では、回転アクチュエータにアブソリュートエンコーダが含まれ得る。図 3 8 C のような別の例では、回転アクチュエータモータ 2 3 0 は、ツール支持本体 8 0 に取り付けられた別個のユニットである。例えば、図 3 8 C は、ツール支持本体 8 0 および回転アクチュエータモータ 2 3 0 の部分分解図を示している。回転アクチュエータモータ 2 3 0 は、ハウジング 2 5 0 を含む。回転アクチュエータモータ 2 3 0 は、ツール支持本体 8 0 に受け入れられる回転アクチュエータモータハウジング 2 5 0 を通して配置されたファスナ 2 7 2 によってツール支持本体 8 0 に取り付けられる。しかしながら、接着剤、溶接などの他の取り付け手段も企図される。図 3 8 C は、回転アクチュエータモータをツール支持体に取り付けるため、回転アクチュエータモータ 2 3 0 の対角線上の反対側の角にあるファスナ 2 7 2 を示している。回転アクチュエータモータ 2 3 0 の反対側の角に対応する整列ピン 2 8 0 は、ツール支持本体 8 0 内に配置され、回転アクチュエータモータ 2 3 0 のツール支持本体 8 0 への取り付けおよびリング歯車 2 3 4 との整列を容易にする。回転アクチュエータモータ 2 3 0 は、ハウジング 2 5 0 を含む。回転アクチュエータモータ 2 3 0 のハウジング 2 5 0 は、受動リンクージ 2 6 のための受動リンクージマウント 2 5 4 を提供するように機能することができ、これについては、以下でさらに説明する。

【0 2 2 2】

解剖学的構造を治療する前に（例えば、大腿骨 F および／または脛骨 T を切断する前に）、および以下に説明する特定の動作モード中に、回転アクチュエータ 2 2 8 のホーム位置を確立するホームング手順を実行することができ、これは、ツールヘッド 8 4 およびツール 2 0 を位置決めするためのアクチュエータ 2 1、2 2（上記）と同様のホームングプロセスを含み得る。このプロセスは、制御システム 6 0 がツールヘッド 8 4 およびツール 2 0 の現在の位置を決定できるように、センサによって測定された駆動歯車 2 3 2、リング歯車 2 3 4、またはその両方のインクリメント運動をカウントするための基準位置を提供する。いくつかのバージョンでは、センサが駆動歯車 2 3 2、リング歯車 2 3 4、またはその両方の絶対位置を測定できる場合、ホームングは必要ない場合がある。他のいくつかの構成では、ツールヘッド 8 4 の初期位置は、他の方法によって決定され得る。例えば、ポインタ 5 7 は、ツールヘッド 8 4 および／またはツール 2 0 内の較正ディボット C D と共に使用され、ツール支持体 1 8、手持ち式本体 1 6、ツールトラッカー 5 2、患者トラッカー 5 4、5 6、P T、またはそれらの組み合わせに対するツールヘッド 8 4 およびツール 2 0 の位置を決定する。

【0 2 2 3】

図 3 5 ～ 3 7 は、アクチュエータ 2 1、2 2 および受動リンクージ 2 6 を介してツール支持体 1 8 のツール支持本体 8 0 に接続する手持ち式本体 1 6 を示している。手持ち式本体 1 6 は、ユーザが機器 1 4 を手動で支持することができるように、ユーザによって把持されるためのグリップ 7 2 を備える。手持ち式本体 1 6 はまた、グリップ 7 2 が 1 つまたは複数のファスナ、接着剤、溶接などによって取り付けられるベース 7 4 を備える。示されるバージョンでは、ベース 7 4 は、ほぼ中空の円筒形を有するスリーブ 7 6 を備える。旋回ハウジング 1 2 6、2 2 6 は、スリーブ 7 6 から延びる（図 4 2 および 4 3）。アクチュエータ 2 1、2 2 は、以下でさらに説明する旋回ハウジング 1 2 6、2 2 6 でベース 7 4 に移動可能に結合されている。

【0 2 2 4】

ツール 2 0 は、図 3 5 ～ 4 5 に示される構成においてツール支持体 1 8 に取り外し可能

に結合されている。特に、ヘッド 84 は、参照により本明細書に組み込まれる、W a l e n らの米国特許第 9, 820, 753 号に記載されているように、ツール 20 と取り外し可能に接続することができる。

【0225】

ツール 20 の動作を駆動する駆動モータ M は、ツール支持本体 80 内に配置されている（例えば、いくつかのバージョンでは、鋸刃の振動を駆動するために）。図 39 A および 39 B は、リング歯車 234 を備えたツール支持体 18 およびヘッド 84 を示している。ツール支持体 18 は、刃アセンブリの振動運動を駆動するために、駆動モータ M および W a l e n らの米国特許第 9, 820, 753 号に示される他の駆動構成要素を組み込むことができる。駆動モータ M は、そこから延びる駆動部材 248 を含み、モータ M の出力と共に回転するように構成される。被駆動部材 248 は、モータ M から遠位に延びる。被駆動部材 248 は、ヘッド 84 の被駆動シャフト 252 を受け入れるように構成されたスロット 282 を含み、被駆動部材 248 は被駆動シャフト 252 を受け入れる。被駆動部材 248 が被駆動部材 248 のスロット 282 内で被駆動シャフト 252 を受け入れると、モータ M が起動した場合に、被駆動部材 248 と被駆動シャフト 252 は一緒に回転する。駆動モータ M の回転運動は、被駆動部材 248 を回転させ、被駆動部材 248 は、次に、被駆動シャフト 252 を回転させ、ツール 20 に動力を供給する。ヘッド 84 は、駆動モータ M の起動とは無関係に、回転アクチュエータ 228 が作動されるときに、リング歯車 234 とともにヘッド 84 およびツール 20 の回転位置を調整して回転する。駆動モータ M は、ツール 20 およびヘッド 84 が回転アクチュエータアセンブリ 228 のリング歯車 234 によって回転されるときに、静止状態を維持するように構成され得る。別の構成では、駆動モータ M は、回転アクチュエータアセンブリ 228 のリング歯車 234 と共に回転するように構成され得る。ツール 20 は、参照により本明細書に組み込まれる、W a l e n らの米国特許第 9, 820, 753 号に開示されている方法で、ヘッド 84 に取り付けられ、そしてヘッド 84 から解放され得る。

【0226】

図 40 A および 40 B に最もよく示されるように、ツール支持体 18 はまた、さらに以下に説明されるように、アクチュエータ 21、22 が旋回マウントを介してツール支持体 18 に移動可能に結合される複数のアクチュエータマウント 86、88 を備える。アクチュエータマウント 86、88 は、ツール支持体 18 が手持ち部分 16 に対して 2 自由度（つまり、z 軸の並進とピッチ）で移動することができるように、アクチュエータ 21、22 を取り付けのに適したブラケットなどを備える。

【0227】

図 36 および 37 に見られるように、アクチュエータ 21、22 は、ベース 74 とツール支持本体 80 との間に延びる電氣的線形アクチュエータを備える。作動すると、アクチュエータ 21、22 の有効長（前に図 16 に関して説明した）が変化して、アクチュエータ 21、22 の対応する軸に沿ってツール支持本体 80 とベース 74 との間の距離を変化させる。したがって、アクチュエータ 21、22 は、それらの有効長を変更し、手持ち式本体 16 に対して少なくとも 2 自由度（ピッチおよび z 軸の並進）でツール支持体 18 を動かすように協調して動作する。示されているバージョンでは、2 つのアクチュエータ 21、22 が提供され、これらは、第 1 および第 2 の線形アクチュエータ 21、22、または前部アクチュエータ 21 および後部アクチュエータ 22 と呼ばれることがある。第 1 および第 2 のアクチュエータ 21、22 は、第 1 の能動軸 A A 1 および第 2 の能動軸 A A 2 に沿って有効長が調整可能である（図 41 を参照）。第 1 および第 2 のアクチュエータ 21、22 は、有効長が独立して調整可能であり、前述のように、手持ち式本体 16 に対して、ツール支持体 18 のピッチ方向、z 軸並進位置の 1 つ以上、または両方を調整する。回転アクチュエータアセンブリ 228 と組み合わせたアクチュエータ 21、22 は、手持ち式本体 16 に対して、ツール支持体 18 の長手方向軸の周りのロールを含む、少なくとも 3 自由度でツール 20 を調整するように構成される。いくつかの例では、より多くのアクチュエータが提供され得る。アクチュエータ 21、22 は、任意の適切なサイズまたは

形状の１つまたは複数のリンクを有するリンケージを含み得る。アクチュエータ２１、２２および回転アクチュエータアセンブリ２２８を備えたアクチュエータアセンブリ４００は、少なくとも３自由度で手持ち式本体１６に対するツール２０の動きを可能にするのに適した任意の構成を有することができる。

【０２２８】

図３６、３７、および３８Ａは、複数の能動ジョイントを介してベース７４およびツール支持本体８０に結合されたアクチュエータ２１、２２を示している。能動ジョイントは、アクチュエータ２１、２２をアクチュエータマウント８６、８８でツール支持本体８０に結合する一組の第１の能動ジョイント９２を含む。１つのバージョンでは、図４１および４２に示されるように、第１の能動ジョイント９２は、能動旋回ジョイントを含む。旋回ジョイントは、旋回ピン９４を備える。旋回ピン９４は、アクチュエータマウント８６、８８、およびアクチュエータ２１、２２上に配置された旋回ヨーク１０６を通過し、アクチュエータ２１、２２をアクチュエータマウント８６、８８に旋回可能に接続する。止めねじ１００は、ロックピン２４０を第１の旋回ピン９４を介してアクチュエータマウント８６、８８に横方向に固定することができる。

【０２２９】

図４１に示される構成では、アクチュエータ２１、２２（受動リンケージ２６と共に）は、一方向に旋回するように拘束され、ツール支持体１８と手持ち式本体１６が互いに対して回転およびロールするのを抑制しながら、同時にツール支持体１８を垂直に並進およびピッチングできるようにする。アクチュエータマウント８６、８８は、ロックピン２４０を受け入れるための貫通穴２４２を有する。第１の旋回ピン９４は、ロックピン２４０を受け入れるためのクロス穴２４４を有し、第１の旋回ピン９４とロックピン２４０が交差し、アクチュエータマウント８６、８８に対して第１の旋回ピン９４をロックする。結果として、アクチュエータ２１、２２は、ツール支持本体８０に対して上昇および旋回することができる。

【０２３０】

アクチュエータ２１、２２は、旋回ハウジング１２６、２２６でベース７４に移動可能に結合され、前部アクチュエータ２１および後部アクチュエータ２２を手持ち式本体１６のベース７４に結合する下部能動ジョイント２４６、２７０を形成する。下部能動ジョイント２４６、２７０は、ジョイント支持体７９で支持されている。下部能動ジョイント２４６、２７０は、ベース７４のジョイント支持体７９に固定された旋回ハウジング１２６、２２６を備える。

【０２３１】

下部能動ジョイント２４６、２７０はそれぞれ、トラニオン１１８を介して旋回ハウジング１２６、２２６に旋回可能に結合されたキャリア１１６を備える。ポケット１３２を有するファスナ１３０は、トラニオン１１８と係合するために、貫通穴１３３を介して旋回ハウジング１２６、２２６のいずれかの側に取り付けられる。ファスナ１３０は、組み立て後にキャリア１１６がポケット１３２内に配置されているトラニオン１１８を介して旋回できるように構成されている。キャリア１１６は、以下でさらに説明するように、アクチュエータ２１、２２の親ねじ１５０を受け入れるために、内部にねじ山付きの貫通穴１１７を有する。旋回ハウジング１２６、２２６および関連するキャリア１１６の構成、すなわち、関連するキャリア１１６が旋回軸ＰＡを中心としてのみ旋回する（例えば、スイベルしない）能力のために、下部能動ジョイント２４６、２７０は、ベース７４に対してアクチュエータ２１、２２の動きの１自由度のみを可能にする。アクチュエータ２１、２２とベース７４との間の他のジョイント配置も可能である。さらに、図３５～４５に示されているアクチュエータ２１、２２の設計および機能は、図１～３４に先に示されているアクチュエータ２１、２２と同じである。さらに、アクチュエータ２１、２２、さらに回転アクチュエータアセンブリ２２８は、図１～３４に記載されているのと同様の方法で制御され、動力が供給され、感知される。

【０２３２】

前述のように、キャリア116は、親ねじ150をねじ込み式に受け入れるために、内部にねじ山付きの貫通穴117を有し、その結果、親ねじ150のそれぞれは、キャリア116の対応する1つに対して回転して、複数のアクチュエータ21、22のうちの対応する1つの有効長を調整し、それにより、機器コントローラ28によって測定されるカウンタを変化させる。ハウジング134および対応するキャリア116のそれぞれは、親ねじ150がキャリア116に対して回転できるように、少なくとも1自由度で相対運動が拘束される(図16を参照)。より具体的には、親ねじ150は、以下の理由により、キャリア116に対して回転することができる。すなわち、旋回ヨーク106は、関連する能動軸AA1、AA2の周りを回転することができず(すなわち、旋回ヨーク106は、第1の能動ジョイント92の構成により、そのような回転運動が制限される)、キャリア116は、関連する能動軸AA1、AA2の周りを回転することができない(すなわち、キャリア116は、第2の能動ジョイント246、270の構成により、そのような回転運動が制限される)。

10

【0233】

親ねじ150上に形成されたねじ山付きのファスナおよび肩などのストップ152は、親ねじ150に固定されている。ストップ152は、各親ねじ150の移動の端でキャリア116に隣接するようなサイズになっている。

【0234】

前述のように、アクチュエータ21、22は、有効長が能動的に調整可能であり(少なくとも図16で上述されている)、手持ち部分16に対するツール支持体18の動きを可能にする。各アクチュエータ21、22は、親ねじ150がその関連するキャリア116にねじ込まれた、またはねじ出された距離を変化させ、それにより、関連するキャリア116の中心から関連する第1の能動ジョイント92の中心までの距離を変更することによって調整される。アクチュエータ21、22は、有効長の最小値と最大値との間で調整可能である。各アクチュエータ21、22の有効長は、能動軸AA1、AA2に沿ったツール支持体18と手持ち部分16との間の距離を示すために任意の適切な方法で表され/測定され、手持ち式本体16に対してツール支持体18の様々な動きを引き起こすように変化する。

20

【0235】

拘束アセンブリ24は、アクチュエータ21、22と協調して動作して、アクチュエータ21、22によって提供される動きを拘束する。アクチュエータ21、22は2自由度での動きを提供し、拘束アセンブリ24は3自由度での動きを拘束する。示されているバージョンでは、拘束アセンブリ24は、受動リンケージ26と、受動リンケージ26をツール支持体18に結合する受動リンケージジョイント156とを含む。

30

【0236】

図41および42に示される構成では、拘束アセンブリは、受動リンケージジョイント156によってツール支持体18に取り付けられている。受動リンケージジョイント156は、ツール支持体18上の受動リンケージマウント254および受動リンケージ旋回ヨーク172を含む。一对の旋回ピン256は、受動リンケージ26の受動リンケージ旋回ヨーク172を、回転アクチュエータモータ230のハウジング250に配置されたツール支持体18の受動リンケージマウント254に旋回可能に接続する。図38Cおよび40A~42に見られるように、回転アクチュエータアセンブリ228の回転アクチュエータモータ230のハウジング250は、ツール支持体80に取り付けられている。受動リンケージ26は、受動リンケージヨーク172を介して、一对の旋回ピン256によって回転モータ230のハウジング250に取り付けられている。一对の旋回ピン256は、受動リンケージヨーク172および旋回ピン256の穴276、278を通してそれぞれ配置され、ねじロック258によって固定され、旋回ピン256を受動リンケージヨーク172と軸方向に整列させて保持するピン274によって所定の位置に保持される。ツール支持体18との接続の結果として、受動リンケージ26は、アクチュエータ21、22が作動されるときに上昇することができ、ツール支持体80に対して異なるピッチ角

40

50

に対応するように旋回することができる。

【0237】

受動リンケージ26は、受動リンケージ旋回ヨーク172に固定されたシャフト174を備える。受動リンケージ26はまた、拘束軸CAに沿ってシャフト174を受け入れるように構成されたベース74のスリーブ76を備える。受動リンケージ26は、シャフト174がスリーブ74に対して拘束軸CAに沿って軸方向に摺動し、アクチュエータ21、22の1つまたは複数の作動中に拘束軸CAに対して半径方向のシャフト174の動きを拘束することを可能にするように構成される。

【0238】

受動リンケージ26は、拘束軸CAの周りのスリーブ76に対するシャフト174の回転を拘束するためのキー176をさらに備える。キー176は、図44に最もよく示されている。キー176は、シャフト174およびスリーブ76内の対向するキー溝178、180に適合し、シャフト174をスリーブ76に回転的にロックする。一体型キー／スロット配置などのように、シャフト174およびスリーブ76の相対回転を防止するための他の配置も企図される。受動リンケージ26は、アクチュエータ21、22とは独立して、ツール支持体18と手持ち式本体16とを動作可能に相互接続する。受動リンケージは、アクチュエータ21、22の1つまたは複数の作動中に、拘束軸CAに沿って有効長で受動的に調整可能である。スリーブ76、シャフト174、およびキー176は、受動リンケージ26のためのリンクの1つの組み合わせを表す。任意の適切な方法で接続された他のサイズ、形状、および数のリンクを、受動リンケージ26に使用することができる。受動リンケージジョイント156は、ツール支持体18に対して単一の旋回軸PAを中心に旋回することができる。第1の能動ジョイント92および受動リンケージジョイント156はそれぞれ、共通平面CP上に配置された旋回軸PAを規定する（図41および42を参照）。非平行旋回軸PA、異なる平面上に配置された平行旋回軸PA、それらの組み合わせ、および／または他の構成もまた企図される。

【0239】

図36に見られるように、ツール支持体18のヘッド84は、ツール20がツール支持体18に結合されたときに、ツール20が共通平面CPに平行なツール平面TP（例えば、刃平面）上に配置されるように配置される。いくつかの例では、ツール平面TPは、共通平面CPから2.0インチ以下、1.0インチ以下、0.8インチ以下、または0.5インチ以下離れている。

【0240】

示されるバージョンでは、アクチュエータ21、22は、能動軸AA1、AA2が、それらのホーム位置にあるときを含む、アクチュエータ21、22のすべての位置において拘束軸CAに対して傾斜した構成になるように配置される。軸AA1、AA2を傾斜させることは、概して、アクチュエータ配置を先細にし、よりスリムでよりコンパクトなベース74および関連するグリップ72を可能にする。能動軸AA1、AA2が拘束軸CAに対して傾斜した構成にないものを含む、他の構成も企図される。このような構成には、アクチュエータ軸AA1、AA2がホーム位置で互いに平行である構成が含まれ得る。

【0241】

図45Aおよび45Bは、異なる作動状態にある外科用機器を示している。図45Aは、その親ねじ150がキャリア116に完全にねじ込まれた遠位アクチュエータ21を備える外科用機器を示している。近位アクチュエータ22は、親ねじ150が延ばされ、ツール支持体18の近位端を垂直に押し、ツール支持体18の遠位端を下方方向にピッチングした状態で示されている。ツール20を保持するツールヘッド84は、ツール支持体18の長手方向軸を中心に回転して示されている。同様に、図45Bは、その親ねじ150がキャリア116に完全にねじ込まれた近位アクチュエータ22を示している。遠位アクチュエータ21は、親ねじ150が延ばされ、ツール支持体18の遠位端を垂直に押し、ツール支持体18の遠位端を上方方向にピッチングした状態で示されている。ツールヘッド84およびツールは、ツール支持体18の長手方向軸を中心に図45Aに示されたものとは

反対方向に回転して示されている。

【0242】

機器14の代替構成は、図46～56Cに最もよく示されている。機器14は、ユーザによって保持される手持ち式本体16、ツール20を支持するために手持ち式本体16に移動可能に結合されたツール支持体18、ツール支持体18と手持ち式本体16とを動作可能に相互接続して、手持ち式本体16に対して3自由度でツール支持体18を動かす複数のアクチュエータ21、22、260を含むアクチュエータアセンブリ400を含む。アクチュエータ260は、z軸並進を制御する1次上昇アクチュエータであり、2次アクチュエータ21および22を支持および運搬するように構成されている。アクチュエータ260は、z軸方向に移動(translate)し、ツール支持体18および2次アクチュエータ21、22を手持ち式本体16に対して動かす。2次アクチュエータ21、22は、上昇アクチュエータ260および手持ち式本体16に対してツール支持体18のピッチおよびロールを調整するように構成される。上昇アクチュエータ260がツール支持体18および2次アクチュエータ21、22を手持ち式本体から遠ざけるように動かすと、2次アクチュエータはより広い運動範囲を有する。

10

【0243】

図46～48を参照すると、手持ち式本体16は、ユーザが手動で機器14を支持し、自由に動かすことができるように、ユーザによって把持されるためのグリップ72を備える。手持ち式本体16は、ピストルグリップとして構成することができる。手持ち式本体16はまた、グリップ72が1つまたは複数のファスナ、接着剤、溶接などによって取り付けられるベース74を備える。

20

【0244】

図46～48は、ツール支持体に結合された上昇アクチュエータアセンブリ260を備えた外科用機器14の正面、側面、および背面の斜視図を示している。上昇アクチュエータアセンブリは、ツール支持体18および2次アクチュエータ21、22と動作可能に結合されるため、上昇アクチュエータアセンブリ260が作動されて垂直に移動するとき、ツール支持体18および2次アクチュエータ21、22も垂直に移動される。

【0245】

図49を参照すると、ベース74は、手持ち式本体16をツール支持体18に接続する上昇アクチュエータ260を含む。ツール支持体18は、上昇アクチュエータ260および2次アクチュエータ21、22によって手持ち式本体16に接続されている。ツール支持体18は、ツール支持体18に固定された1つまたは複数のトラッカーマウントを介してトラッカー52を取り外し可能に取り付けることができるツール支持本体80を備える。ツール20は、示されているバージョンのツール支持体18に取り外し可能に結合されている。特に、ツール支持体18は、参照により本明細書に組み込まれる、Walenらの米国特許第9,820,753号に記載されているように、ツール20が取り付けられるヘッド84などのツールカブラを備える。ツール20の動作を駆動する駆動モータMは、ツール支持本体80内に配置されている(例えば、いくつかのバージョンでは鋸刃の振動を駆動するために)。ツール20は、参照により本明細書に組み込まれる、Walenらの米国特許第9,820,753号に開示されている方法で、ヘッド84に取り付けられ、そしてヘッド84から解放され得る。

30

40

【0246】

図54Aおよび54Bに最もよく見られるように、上昇アクチュエータ260は、ベースモータ262、駆動ねじ264、およびほぼ中空の円筒形を有するキャリッジ266を備える。キャリッジ266は、ベースモータ262によって駆動される駆動ねじ264を受け入れるようにねじ山が付けられている。キャリッジ266は、手持ち式本体16にキーイングおよび／またはガイドされ、これにより、手持ち式本体16およびツール支持体18に対してキャリッジ266を回転させることなく、キャリッジ266が駆動ねじ264に沿って移動することを可能にする。キャリッジ266は、2次アクチュエータ21、22をキャリッジに接続するためのジョイント支持体77、78を含む。

50

【0247】

上昇アクチュエータアセンブリ260は、ツール支持体18が手持ち式本体16に隣接する収縮位置と、ツール支持体18が手持ち式本体16から離間する延長位置との間で移動可能である(図55A~55Bに見られるように)。上昇アクチュエータ260は、ツール支持体18および2次アクチュエータ21、22の両方を、手持ち式本体16に対して1自由度で動かすように構成されている。上昇アクチュエータ260と連動する2次アクチュエータ21、22は、手持ち式本体16に対して3自由度でツール支持体18を動かすように構成される。いくつかの例では、より多くのアクチュエータが提供され得る。2次アクチュエータ21、22は、上昇アクチュエータが完全に延長位置にあるとき、より長い移動長さを有し、その位置で、ツール支持体18は、手持ち式本体16から離間される(図55C)。2次アクチュエータ21、22は、いくつかの例では回転アクチュエータを含み得る。2次アクチュエータ21、22は、任意の適切なサイズまたは形状の1つまたは複数のリンクを有するリンケージを含み得る。2次アクチュエータ21、22は、手持ち式本体16およびキャリッジ266に対して少なくとも2自由度でツール支持体18の動きを可能にするのに適した任意の構成を有することができる。例えば、いくつかのバージョンでは、2つの後部2次アクチュエータ、またはいくつかのその他のアクチュエータが配置され得る。

10

【0248】

図52および53A~53Bに示されるように、ツール支持体18は、以下でさらに説明するようにアクチュエータ21、22、260がジョイントを介してツール支持体18に移動可能に結合される複数のアクチュエータマウント86、88、90を含む。アクチュエータマウント86、88、90は、ツール支持体18が手持ち式本体16に対して3自由度で移動可能となるように、アクチュエータ21、22、260を取り付けるのに適したブラケットなどを備える。

20

【0249】

図53Aおよび53Bは、2次アクチュエータ21、22を、キャリッジ266とツール支持本体80との間に延びる電氣的線形アクチュエータとして示している。作動すると、アクチュエータ21、22の有効長が変化して、アクチュエータ21、22の対応する軸に沿って、ツール支持本体80とキャリッジ266との間の距離を変化させる。したがって、2次アクチュエータ21、22は、それらの有効長を変更し、手持ち式本体16およびキャリッジ266に対して少なくとも2自由度でツール支持体18を動かすように(例えば、ロール、ピッチ、またはその両方)、協調して動作する。アクチュエータ21、22が提供され、これらは、2次アクチュエータ21、22またはピッチ/ロールアクチュエータ21、22と呼ばれることがある。2次アクチュエータ21、22はそれぞれ、上昇アクチュエータ260のストローク長よりも短いストローク長を有する。2次アクチュエータ21、22は、それぞれ、第1の能動軸AA1および第2の能動軸AA2に沿って有効長が調整可能である(図53A、54Aを参照)。上昇アクチュエータ260は、第3の能動軸AA3に沿って有効長が調整可能であり、ここで、キャリッジ266は、ベースモータ262の作動時に駆動ねじ264に沿って移動する。2次アクチュエータ21、22は、前述のように、手持ち式本体16およびキャリッジ266に対して、ツール支持体18のピッチ方向、ロール方向の1つ以上、または両方を調整するために、有効長において独立して調整可能である。

30

40

【0250】

上昇アクチュエータ260のキャリッジ266および2次アクチュエータ21、22は、複数の能動ジョイントを介してツール支持本体80に結合されている。能動ジョイントは、キャリッジ266および2次アクチュエータ21、22を、アクチュエータマウント86、88、90でツール支持本体80に結合する一組の第1の能動ジョイント92を含む。1つのバージョンでは、図52に示されるように、第1の能動ジョイント92は、能動Uジョイントを含む。Uジョイントは、第1の旋回ピン94およびジョイントブロック96を備える。第1の旋回ピン94は、ジョイントブロック96の貫通穴98を介して、

50

ジョイントブロック 96 をアクチュエータマウント 86、88、90 に回転可能に接続する。止めねじ 100 は、第 1 の回転ピン 94 をアクチュエータマウント 86、88、90 に固定することができる。U ジョイントはまた、第 2 の回転ピン 104 を含み得る。ジョイントブロック 96 は、第 2 の回転ピン 104 を受け入れるためのクロス穴 102 を有する。第 2 の回転ピン 104 は、第 1 の回転ピン 94、ジョイントブロック 96、および第 2 の回転ピン 104 が U ジョイントのクロスを形成するように、第 1 の回転ピン 94 を受け入れるための貫通穴 103 を有する。各 U ジョイントの第 1 の回転ピン 94 と第 2 の回転ピン 104 は、交差する回転軸を規定する。第 2 の回転ピン 104 は、回転ヨーク 106、268 をジョイントブロック 96 に回転可能に接続する。結果として、キャリッジ 266 および 2 次アクチュエータ 21、22 は、ツール支持本体 80 に対して 3 自由度で移動することができる。他のタイプの能動ジョイントも考えられる。

10

【0251】

ここで図 53B を参照すると、能動ジョイントはまた、2 次アクチュエータ 21、22 をキャリッジ 266 に結合する一組の第 2 の能動ジョイント 108 を含む。図 53B では、第 2 の能動ジョイント 108 は、ジョイント支持体 77、78 で支持されている。第 2 の能動ジョイント 108 のそれぞれは、スイベル軸 SA の周りでキャリッジ 266 および手持ち式本体 16 に対してスイベルするように配置されたスイベルヨーク 110 を備える。各スイベルヨーク 110 は、スイベルヘッド 112 と、スイベルヘッド 112 から延びる支柱 114 とを有し、ジョイント支持体 77、78 の 1 つでキャリッジ 266 と回転可能に係合する。ナット 115 は、支柱 114 の一端にねじ込み式に接続して、支柱 114 をキャリッジ 266 に捕捉すると同時に、スイベルヨーク 110 がそれぞれのジョイント支持体 77、78 内で自由に回転できるようにする。

20

【0252】

図 53B に見られるように、第 2 の能動ジョイント 108 のそれぞれは、スイベルヨーク 110 の 1 つに回転可能に結合されたキャリア 116 を備える。キャリア 116 は、以下でさらに説明するように、2 つの前部アクチュエータ 21、22 の親ねじ 150 を受け入れるために、内部にねじ山付きの貫通穴 117 を有する。キャリア 116 のそれぞれはまた、スイベルヨーク 110 のポケット 120 に着座することによって、キャリア 116 が回転軸 PA を中心にスイベルヨーク 110 に対して回転することを可能にする対向するトラニオン 118 を備える。いくつかのバージョンでは、第 2 の能動ジョイント 108 のそれぞれについて、スイベル軸 SA が回転軸 PA と交差して、アクチュエータ 21、22 が 2 自由度で動く単一の頂点を規定する。

30

【0253】

カバー 122 は、スイベルヘッド 112 に固定され、ポケット 120 の一方を規定し、スイベルヘッド 112 は、ポケット 120 の他方を規定する。組み立て中、キャリア 116 は、最初に、スイベルヘッド 112 のポケット 120 にトラニオン 118 の 1 つを配置することで位置決めされ、次いで、キャリア 116 がカバー 122 とスイベルヘッド 112 の間に捕捉され、トラニオン 118 およびポケット 120 を介してスイベルヨーク 110 に対して回転することができるように、カバー 122 が他のトラニオン 118 に固定される。スイベルヨーク 110 および関連するキャリア 116 の構成、すなわち、スイベル軸 SA を中心にスイベルし、回転軸 PA を中心に回転するキャリア 116 の能力により、第 2 の能動ジョイント 108 は、ベース 74 に対して 2 つの前部アクチュエータ 21、22 の 2 自由度の動きを可能にする。2 つの前部アクチュエータ 21、22 とキャリッジ 266 との間の他のジョイント構成も可能である。

40

【0254】

親ねじ 150 上に形成されたねじ山ファスナおよび肩などのストップ 152 は、親ねじ 150 に固定されている。ストップ 152 は、各親ねじ 150 の移動の端でキャリア 116 に隣接するようなサイズになっている。

【0255】

アクチュエータ 21、22 は、上記の図 16 に関して説明されたアクチュエータと実質

50

的に同様である。アクチュエータ 21、22、260 のそれぞれは、別個のモータコントローラによって制御され得る。モータコントローラは、アクチュエータ 21、22、260 にそれぞれ別々に配線されて、各アクチュエータ 21、22、260 を所与のターゲット位置に個別に向けることができる。いくつかの例では、モータコントローラは比例積分微分 (PID) コントローラである。いくつかの例では、モータコントローラは、機器コントローラと統合するか、またはその一部を形成することができる。説明を容易にするために、モータコントローラは、本明細書では、機器コントローラ 28 の一部であると説明される (図 7)。上昇アクチュエータ 260 および 2 次アクチュエータは、図 1 ~ 34 に記載および表示された構成と実質的に同様の方法で制御され、感知され、電力が供給される。

10

【0256】

前述のように、キャリア 116 は、親ねじ 150 をねじ込み式に受け入れるために、内部にねじ山付きの貫通穴 117 を有し、その結果、親ねじ 150 のそれぞれは、キャリア 116 の対応する 1 つに対して回転して、2 次アクチュエータ 21、22 の対応する 1 つの有効長を調整することができ、それにより、機器コントローラ 28 によって測定されるカウントを変化させる。ハウジング 134 および対応するキャリア 116 のそれぞれは、親ねじ 150 がキャリア 116 に対して回転することを可能にするために、少なくとも 1 自由度で相対運動が拘束される。より具体的には、親ねじ 150 は、以下の理由により、キャリア 116 に対して回転することができる。すなわち、旋回ヨーク 106 は、関連する能動軸 AA1、AA2 の周りを回転することができず (すなわち、旋回ヨーク 106 は、第 1 の能動ジョイント 92 の構成により、そのような回転運動が制限される)、キャリア 116 は、関連する能動軸 AA1、AA2 の周りを回転することができない (すなわち、キャリア 116 は、第 2 の能動ジョイント 108 の構成のために、そのような回転運動が制限される)。

20

【0257】

前述のように、アクチュエータ 21、22、260 は、有効長が能動的に調整可能であり (前に図 16 に関連して説明された)、手持ち式本体 16 に対するツール支持体 18 の動きを可能にする。各アクチュエータ 21、22、260 が調整されると、親ねじ 150、264 がその関連するキャリア 116、266 にねじ込まれ、またはねじ出されている距離を変化させ、それにより、関連するキャリア 116、266 の中心から関連する能動ジョイント 92 の中心までの距離を変化させることによって有効長が変わる。アクチュエータ 21、22、260 は、有効長の最小値と最大値との間で調整可能である。各アクチュエータ 21、22、260 の有効長は、能動軸 AA1、AA2、AA3 に沿ったツール支持体 18 と手持ち式本体 16 との間の距離を示すために任意の適切な方法で表され / 測定され、手持ち式本体 16 に対してツール支持体 18 の様々な動きを引き起こすように変化する。

30

【0258】

図 49 に続いて、ツール支持体 18 のヘッド 84 は、ツール 20 が、ツール支持体 18 に結合されたときに、共通平面 CP に平行なツール平面 TP (例えば、刃平面) 上に配置されるように構成される。いくつかの例では、ツール平面 TP は、共通平面 CP から 2.0 インチ以下、1.0 インチ以下、0.8 インチ以下、または 0.5 インチ以下離れている。

40

【0259】

図 52、53A および 53B において、アクチュエータ 21、22、260 は、能動軸 AA1、AA2 が、それらのホーム位置にあるときを含めて、2 次アクチュエータ 21、22 のすべての位置において能動軸 AA3 に対して傾斜した構成になるように配置される。軸 AA1、AA2 を傾斜させることは、概して、アクチュエータ配置を先細にし、よりスリムでよりコンパクトなキャリアッジ 266 および関連するグリップ 72 を可能にする。能動軸 AA1、AA2 が第 3 の能動軸 AA3 に対して傾斜した構成にないものを含む、他の構成も企図される。このような構成には、アクチュエータ軸 AA1、AA2、AA3 が

50

ホーム位置で互いに平行である構成が含まれ得る。

【0260】

図49および55A～Cは、手持ち式本体16のユーザの手で把持される場所から離れて、ツール支持体18の遠位端に向かって配置された2次アクチュエータ21、22を示しており、これにより、操作中にユーザの手、特に親指と人差し指の間の水かき（webbing）がアクチュエータ21、22に接触するリスクがほぼ排除される。さらに、ベースモータ262は、手持ち式本体16のベースに配置され、2次アクチュエータ21、22は、遠位端に向かって配置され、機器14は、アクチュエータを別々の場所に配置することによって熱管理を提供する。

【0261】

図55A～55Cは、上昇アクチュエータ260および2次アクチュエータ21、22を介して手持ち式本体16に対して移動するツール支持体18を備えた機器14の概略図を示す。図55Aは、収縮位置にある上昇アクチュエータ260を示しており、ツール支持体18は手持ち式16に隣接したままである。図55Bは、ツール支持体18を手持ち式本体16から離して配置した、延長位置にある上昇アクチュエータを示している。図55Cは、ピッチングされた方向でツール支持体18を調整する2次アクチュエータ21、22を示している。この例では、2次アクチュエータ21、22は収縮され、ツール支持体18およびツール20を下方向にピッチングしている。

【0262】

図56A～56Cは、2次アクチュエータ21、22が異なる作動状態で示されていることを示している。図56Aでは、2次アクチュエータ21、22は両方ともホーム位置にあり、ツール20を水平面上に維持している。図56Bは、収縮位置にある2次アクチュエータ22および延長位置にある2次アクチュエータ21を示しており、ツール支持体18およびツール20のロールが変化している。同様に、図56Cは、2次アクチュエータ21が収縮され、2次アクチュエータ22が延長位置にあり、ツール支持体18およびツール20を図56Bとは反対の方向にロールさせていることを示している。

【0263】

図57は、モジュールツールシステム300として使用されるように構成されたロボット機器14の代替構成の斜視図を示している。図57の機器は、複数のアクチュエータ21、22、23および拘束アセンブリ24を含むアクチュエータアセンブリ400を備えた上記の構成と実質的に同様の機器を示している。機器14は、少なくとも3自由度（例えば、ピッチ、ロール、高さ）で動くように構成される。機器14は、複数のモジュールツールヘッドと共に使用されるモジュールツールシステムとして構成される。モジュールツールシステム300は、異なるモジュールツールヘッド（302、304、306、308）を機器14に取り外し可能に取り付けて交換して、手術中に異なる機能を実行するように構成される。ツール支持本体80は、以下でさらに説明するように、複数のモジュールツールヘッド302、304、306、308を受け入れるための受容部分332（例えば、コレット）を含む。受容部分332は、複数のモジュールヘッド302、304、306、308を受け入れおよび固定するためのロック機能316を含む。受容部分332は、必要に応じて、モジュールツールヘッド302、308の1つまたは複数に回転動力を提供するように構成されたモータMの出力に接続された駆動レシーバ318を含む。

【0264】

図58A～58Dは、図57のロボット機器14で使用するための複数のモジュールツールアタッチメントの斜視図を示している。図58A～58Dに示されるモジュールツールヘッド302、304、306、308のそれぞれは、図57に示される機器14の受容部分に接続および挿入するための接続部分326をそれぞれ含む。各接続部分326は、受容部分332のロック機能316と係合するように構成されたロック314を含む。モジュールツールヘッド302、304、306、308のそれぞれの接続部分326は、機器14の受容部分332に整列されて挿入されるように構成され得る。ツールヘッド302、304、306、308のそれぞれは、機器14の受容部分332にロックされ

10

20

30

40

50

得る。当業者は、任意の適切なロック構成および／または方法が企図されることを理解するであろう。

【0265】

図58Aは、図57の機器14によって受け入れられるように構成されたモジュールソーヘッド302を示している。モジュールソーヘッド302は、図57の機器14に配置されたシャフトレシーバー318によって受け入れられるように構成されたシャフト310を含む。シャフトレシーバー318は、モータMに接続されて、シャフト310に回転力を提供し、モジュールソーヘッド302に動力を供給する。モジュールソーヘッド302は、シャフト310の回転運動を、ツールマウント320で別のタイプの動き（例えば、振動、周回軌道（orbital）など）に変換するためのトランスミッション312を含む。ツールマウント320は、外科的処置を実行するためのツールを受け入れるように構成される。

10

【0266】

図58Aと同様に、図58Bは、モジュールプローブ304を示している。モジュールプローブ304は、図57の機器14によって受け入れられるように構成される。モジュールプローブ304は、より丸い先端325を備えた長手方向に延びるステム324を含む。モジュールプローブ304は、外科的関心のある表面および／または領域を確認するためにナビゲーションシステム32と共に使用されるように構成される。モジュールプローブ304は、外科用装置、患者、またはその両方をナビゲーションシステム32に登録するために使用され得る。モジュールプローブ304は、機器14と取り外し可能に接続されるように構成される。

20

【0267】

図58Cは、図57の機器14で使用するためのモジュールオステオトーム306を示している。モジュールオステオトーム306は、機器14と取り付けるための接続部分326と、接続部分326から延びるチゼル部分（chisel portion）328とを含む。モジュールオステオトーム306は、湾曲したチゼル部分328で示されているが、他の形状、曲線、および長さも考慮される。

【0268】

図58Dは、図57の機器14で使用するためのモジュールドリルヘッド308を示している。モジュールドリルヘッド308は、図57の機器14に配置されたシャフトレシーバー318によって受け入れられるように構成されたシャフト310を含む。シャフトレシーバー318は、モータMに接続されて、シャフト310に回転力を提供し、モジュールドリルヘッド308に動力を供給する。モジュールドリルヘッド308は、接続部分326にトランスミッション312を含み、これは、モータMによって提供される回転速度およびトルクを増減し、ドリルヘッド330の回転速度およびトルクを変更するシステムを含む。上記のツールのいずれも、ツール支持体18に直接固定され、および／またはツール支持体と取り外し可能に結合され得る。

30

【0269】

図59は、切断ガイド340として構成されたロボット機器14の斜視図である。この構成では、ツール支持本体は、アクチュエータ21、22、23を介して少なくとも3自由度で調整可能（例えば、ピッチ、ロール、高さ）な切断ガイド340として構成される。切断ガイド340は、外科的処置中に鋸などの外科用装置で 사용되는ように構成される。ロボット機器は、制御システムおよびナビゲーションシステムと通信して、手術されている解剖学的物体にガイドを取り付ける必要なしに、選択的な外科的切断のために切断ガイド340を位置決めするようにユーザに指示する。切断ガイド340は、アクチュエータ21、22、23および拘束アセンブリ24に接続された本体342と、本体342から延びるジグ344とを含む。ジグ344は、鋸刃を選択された切断面に拘束するように構成された刃開口部346を含み、鋸が所望の切断領域から逸脱するのを防ぐ。

40

【0270】

以下の規定を含む本出願では、「コントローラ」という用語は、「回路」という用語に

50

置き換えることができる。「コントローラ」という用語は、以下を指す、その一部である、または含み得、特定用途向け集積回路（ASIC）、デジタル、アナログ、またはアナログ／デジタル混合ディスクリート回路、デジタル、アナログ、またはアナログ／デジタル混合集積回路、組み合わせ論理回路、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）、コードを実行するプロセッサ回路（共有、専用、または群）、プロセッサ回路によって実行されるコードを記憶するメモリ回路（共有、専用、または群）、説明されている機能を提供するその他の適切なハードウェア構成要素、または、システムオンチップなど、上記の一部またはすべての組み合わせである。

【0271】

コントローラは、1つまたは複数のインターフェース回路を含み得る。いくつかの例では、インターフェース回路は、ローカルエリアネットワーク（LAN）または無線パーソナルエリアネットワーク（WPAN）に接続する有線または無線インターフェースを実装することができる。LANの例としては、米国電気電子学会（IEEE）標準802.11～2016（WIFI無線ネットワーク標準とも呼ばれる）およびIEEE標準802.3-2015（ETHERNET有線ネットワーク標準とも呼ばれる）がある。WPANの例としては、Bluetooth（登録商標）Special Interest GroupのBLUETOOTH（登録商標）無線ネットワーク標準およびIEEE標準802.15.4がある。

10

【0272】

コントローラは、インターフェース回路を使用して他のコントローラと通信することができる。コントローラは、本開示では、他のコントローラと直接論理的に通信するものとして描写され得るが、様々な構成において、コントローラは、通信システムを介して実際に通信することができる。通信システムには、ハブ、スイッチ、ルーター、ゲートウェイなどの物理ネットワーク機器や仮想ネットワーク機器が含まれる。いくつかの構成では、通信システムはインターネットなどのワイドエリアネットワーク（WAN）に接続するか、それを横断する。例えば、通信システムには、マルチプロトコルラベルスイッチング（MPLS）や仮想プライベートネットワーク（VPN）を含む技術を使用して、インターネットまたはポイントツーポイント専用回線を介して相互に接続された複数のLANが含まれ得る。

20

【0273】

様々な構成において、コントローラの機能は、通信システムを介して接続された複数のコントローラ間で分散され得る。例えば、複数のコントローラが、負荷分散システムによって分散された同じ機能を実装し得る。さらなる例では、コントローラの機能は、サーバー（遠隔またはクラウドとも呼ばれる）コントローラとクライアント（またはユーザ）コントローラの間で分割され得る。

30

【0274】

コントローラの一部またはすべてのハードウェア機能は、IEEE標準1364-2005（一般に「Verilog」と呼ばれる）およびIEEE標準10182-2008（一般に「VHDL」と呼ばれる）などのハードウェア記述用の言語を使用して規定され得る。ハードウェア記述言語は、ハードウェア回路を製造および／またはプログラムするために使用され得る。いくつかの構成では、コントローラの一部またはすべての機能が、IEEE1666-2005（一般に「SystemC」と呼ばれる）などの言語によって規定される場合がある。この言語には、以下で説明するコードとハードウェアの説明の両方が含まれる。

40

【0275】

様々なコントローラプログラムをメモリ回路に記憶することができる。メモリ回路という用語は、コンピュータ可読媒体という用語のサブセットである。本明細書で使用されるコンピュータ可読媒体という用語は、媒体（搬送波上など）を通して伝播する一時的な電気信号または電磁信号を含まない。したがって、コンピュータ可読媒体という用語は、有形で一時的ではないと見なされる場合がある。非一時的なコンピュータ可読媒体の非限定

50

的な例は、不揮発性メモリ回路（フラッシュメモリ回路、消去可能でプログラム可能な読み取り専用メモリ回路、またはマスク読み取り専用メモリ回路など）、揮発性メモリ回路（スタティックランダムアクセスメモリ回路またはダイナミックランダムアクセスメモリ回路）、磁気記憶媒体（アナログまたはデジタル磁気テープまたはハードディスクドライブなど）、および光学記憶媒体（CD、DVD、またはBlu-ray（登録商標）ディスクなど）である。

【0276】

本出願で説明される装置および方法は、コンピュータプログラムに具体化された1つまたは複数の特定の機能を実行するように汎用コンピュータを構成することによって作成された専用コンピュータによって部分的または完全に実装され得る。上記の機能ブロックおよびフローチャート要素は、ソフトウェア仕様として機能し、熟練した技術者またはプログラマーの日常業務によってコンピュータプログラムに変換することができる。

10

【0277】

コンピュータプログラムは、少なくとも1つの非一時的なコンピュータ可読媒体に記憶されているプロセッサ実行可能指示を含む。コンピュータプログラムはまた、記憶されたデータを含むか、またはそれに依存し得る。コンピュータプログラムは、専用コンピュータのハードウェア、専用コンピュータの特定の装置と相互作用する装置ドライバ、1つまたは複数のオペレーティングシステム、ユーザアプリケーション、バックグラウンドサービス、バックグラウンドアプリケーションなどと相互作用する基本的な入出力システム（BIOS）を含み得る。

20

【0278】

コンピュータプログラムは、(i) HTML（ハイパーテキストマークアップ言語）、XML（拡張マークアップ言語）、またはJSON（JavaScript（登録商標）物体表記）などの、解析される記述テキスト、(ii) アセンブリコード、(iii) コンパイラによってソースコードから生成された物体コード、(iv) インタプリタによって実行されるためのソースコード、(v) ジャストインタイムコンパイラによってコンパイルおよび実行されるためのソースコードなどを含み得る。例としてのみ、ソースコードをC、C++、C#、ObjectiveC、Swift、Haskell、Go、SQL、R、Lisp、Java（登録商標）、Fortran、Perl、Pascal、Curl、OCaml、JavaScript（登録商標）、HTML5（ハイパーテキストマークアップ言語第5リビジョン）、Ada、ASP（能動サーバーページ）、PHP（PHP：ハイパーテキストプリプロセッサ）、Scala、Eiffel、Smalltalk、Erlang、Ruby、Flash（登録商標）、VisualBasic（登録商標）、Lua、MATLAB（登録商標）、SENSORLINK、およびPython（登録商標）を含む言語からの構文を使用して記述できる。

30

【0279】

条項セクション

i. ツールとともに使用するための手持ち式ロボットシステムであって、ユーザが保持する手持ち部分と、ツールを支持するために手持ち部分に結合されたツール支持体と、機器に結合され、ツールのピッチ方向、ロール方向、および並進の所望の変更をユーザに視覚的に示して、所望の姿勢を達成するために制御可能であるガイダンスアレイと、ガイダンスアレイに結合され、ユーザがツールを動かしている間、ピッチ方向、ロール方向、および並進の所望の変更を視覚的に示すようにガイダンスアレイを自動的に調整するように構成されたコントローラと、を含む機器を含む、手持ち式ロボットシステム。

40

【0280】

ii. ツールとともに使用するための手持ち式ロボットシステムであって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツールを支持するために手持ち部分に結合されたツール支持体と、機器に結合され、ツールの平面を表すように配置されたガイダンスアレイであって、ツールのピッチ方向、ロール方向、および並進の所望の変更をユーザに視覚的に示し、所望の姿勢を達成するように制御可能であるガイダンスアレイと、ガイダンスアレイの

50

動作を制御するためにガイダンスアレイに結合されたコントローラと、を含む機器を含む、手持ち式ロボットシステム。

【0281】

i i i . コントローラは、ユーザがピッチ方向の所望の変更、ロール方向の所望の変更、および並進の所望の変更を区別できるようにガイダンスアレイを動作するように構成される、条項 i i の手持ち式ロボットシステム。

【0282】

i v . ガイダンスアレイが、第1の視覚的インジケータ、第2の視覚的インジケータ、および第3の視覚的インジケータを含み、視覚的インジケータのそれぞれが、コントローラに結合された1つまたは複数の照明源を備える、条項 i i の手持ち式ロボットシステム。

【0283】

v . 視覚的インジケータのそれぞれは、上部および下部を含み、コントローラは、上部および下部が異なる状態で動作してツールの平面の所望の動きの方向を示すように、上部および下部の照明を制御するように構成される、条項 i v の手持ち式ロボットシステム。

【0284】

v i . 対応する点が所望の位置にあることを示すために上部および下部が同じ状態で動作するように、コントローラが上部および下部の照明を制御するように構成される、条項 v の手持ち式ロボットシステム。

【0285】

v i i . 視覚的インジケータがツールの平面を表すように構成されている、条項 v の手持ち式ロボットシステム。

【0286】

v i i i . ツール支持体が中心面を規定し、第1の視覚的インジケータおよび第2の視覚的インジケータが中心面の両側で中心面からオフセットされ、中心面が第3の視覚的インジケータを通過する、条項 v i i の手持ち式ロボットシステム。

【0287】

i x . コントローラは、上部および下部の照明を制御して、所望の姿勢に対するツールのピッチ方向、ロール方向、および並進位置のうちの1つまたは複数における所望の変更をユーザに示すように構成される、条項 v i i i の手持ち式ロボットシステム。

【0288】

x . コントローラは、第1の状態で動作する上部の照明を制御し、第1の状態とは異なる第2の状態で動作される下部の照明を制御して、ツールの並進位置を変更するようにユーザに示すように構成される、条項 v i i i の手持ち式ロボットシステム。

【0289】

x i . コントローラは、第1の状態で動作する第3の視覚的インジケータの上部の照明を制御し、第1の状態とは異なる第2の状態で動作される第1の視覚的インジケータおよび第2の視覚的インジケータの上部の照明を制御して、ツールのピッチ方向を変更するようにユーザに示すように構成される、条項 v i i i の手持ち式ロボットシステム。

【0290】

x i i . コントローラは、第1の状態で動作する第1の視覚的インジケータの上部の照明を制御し、第1の状態とは異なる第2の状態で動作される第2の視覚的インジケータの上部の照明を制御して、ツールのロール方向を変更するようにユーザに示すように構成される、条項 v i i i の手持ち式ロボットシステム。

【0291】

x i i i . 第1の視覚的インジケータおよび第2の視覚的インジケータが第3の視覚的インジケータに対して遠位に配置されるように、視覚的インジケータがツール支持体に沿って配置される、条項 i v の手持ち式ロボットシステム。

【0292】

x i v . 視覚的インジケータのそれぞれが、異なる状態で動作することができる上半球部分および下半球部分を備えた球形を有する、条項 i v の手持ち式ロボットシステム。

10

20

30

40

50

【0293】

x v. ツール支持体に固定されたトラッカーマウントを備え、ガイダンスアレイとは別のナビゲーショントラッカーを取り外し可能に受け入れる、条項 i i の手持ち式ロボットシステム。

【0294】

x v i. ツールとともに使用するための手持ち式ロボットシステムであって、ユーザが保持および支持する手持ち部分と、ツールを支持するために手持ち部分に移動可能に結合されたツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、ツール支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かして、ツールを所望の軌道または平面上に配置するための複数のアクチュエータであって、複数のアクチュエータのそれぞれは、最大位置と最小位置の間で調整可能であり、最大位置と最小位置の間のホーム位置を有する複数のアクチュエータと、手持ち部分の所望の動きを示すための複数のアクチュエータに関連する視覚的インジケータと、視覚的インジケータに結合され、視覚的インジケータの動作を制御して、手持ち部分の所望の動きを示すコントローラと、を含む、手持ち式ロボットシステム。

【0295】

x v i i. 手持ち式ロボットシステムであって、ユーザが保持する手持ち部分と、ツールを支持するために手持ち部分に移動可能に結合されたツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、ツール支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かして、ツールを所望の軌道または平面上に配置する複数のアクチュエータであって、複数のアクチュエータのそれぞれは、最大位置と最小位置の間で調整可能であり、最大位置と最小位置の間にホーム位置を有する複数のアクチュエータと、手持ち部分の所望の動きを示すための複数のアクチュエータに関連する視覚的インジケータと、コントローラが複数のアクチュエータのそれぞれをそれらのホーム位置に自動的に調整するホームモード、複数のアクチュエータがホーム位置にある間に、コントローラがツールの所望の動きを示してツールを所望の軌道または平面に配置するアプローチモード、ツールが一般に所望の軌道または平面上に配置され、コントローラが手持ち部分の所望の動きを示して、ツールを所望の軌道または平面上に維持するオンターゲットモードを含む複数のモードでの動作を制御するために、複数のアクチュエータおよび視覚的インジケータに結合されたコントローラと、を含む。

【0296】

x v i i i. 使用するために手持ち式ロボットシステムを初期化する方法であって、ユーザが保持する手持ち部分と、鋸刃を支持するために手持ち部分に結合された刃支持体とを備える機器に刃支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、刃支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かす複数のアクチュエータを提供し、複数のアクチュエータのそれぞれは、エンコーダ出力信号を出力するように構成されたエンコーダを含み、既知の座標系で手持ち部分の姿勢を最初に決定し、複数のアクチュエータのそれぞれのエンコーダ信号を最初に取得し、手持ち部分の姿勢とエンコーダ信号に基づいてホーム位置を決定する方法。

【0297】

x i x. 機器の動きをガイドする方法であって、機器は、ユーザが保持する手持ち部分と、ツールを支持するために手持ち部分に結合されたツール支持体と、機器に結合され、ツールの平面を表すように配置されたガイダンスアレイとを有し、方法は、ツールのピッチ方向、ロール方向、および並進の所望の変更をユーザに視覚的に示して、所望の姿勢を達成するステップを含む方法。

【0298】

x x. ユーザが保持する手持ち部分と、ツールを支持するために手持ち部分に移動可能に結合されたツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、手持ち部分に対して3自由度でツール支持体を動かし、ツールを所望の軌道または平面に配置する複数のアクチュエータと、複数のアクチュエータに関連する視覚的インジケータと

、を有するロボット機器の動きをガイドする方法であって、コントローラが複数のアクチュエータのそれぞれを最大位置と最小位置の間のホーム位置に自動的に調整するホームモードと、複数のアクチュエータがホーム位置にある間に、コントローラがツールの所望の動きを示して、ツールを所望の軌道または平面上に配置するアプローチモードと、ツールが概して所望の軌道または平面上に配置され、コントローラが手持ち部分の所望の動きを示して、ツールを所望の軌道または平面上に維持するオンターゲットモードとを含む複数のモードでのロボット機器の動作を制御するステップを含む方法。

【0299】

xxi. 外科用ロボット機器であって、ユーザが保持する手持ち式本体と、手持ち式本体に移動可能に結合されたツール支持体と、ツール支持体によって支持されるツールカプラと、手持ち式本体に対して複数の自由度でツール支持体を動かすための複数のアクチュエータと、を含み、複数のアクチュエータは、ツール支持体と手持ち式本体を動作可能に相互接続する一対の線形アクチュエータであって、一対の線形アクチュエータのそれぞれは、手持ち式本体に接続された第1の部分とツール支持体に接続された第2の部分とを有し、一対の線形アクチュエータは、手持ち式本体に対するツール支持体の高さとピッチを制御するように構成されている一対の線形アクチュエータと、ツール支持体および手持ち式本体に対するツールカプラのロール運動を制御するように構成された回転アクチュエータと、を含む外科用ロボット機器。

10

【0300】

xxii. ツール支持体と手持ち式本体とを動作可能に相互接続する受動リンケージを有する拘束アセンブリをさらに含み、受動リンケージは、3自由度で手持ち式本体に対するツール支持体の動きを拘束するように構成された方法でツール支持体と手持ち式本体に結合される、条項xxiの外科用機器。

20

【0301】

xxiii. 一対の線形アクチュエータが、第1の軸に沿って有効長が調整可能な第1のアクチュエータと、第2の軸に沿って有効長が調整可能な第2のアクチュエータとを備える、条項xxiiの外科用機器。

【0302】

xiv. 受動リンケージが拘束軸に沿って有効長で調整可能であり、拘束軸が複数のアクチュエータの作動全体にわたる中心面に沿って同一平面上にある、条項xxiiiの外科用機器。

30

【0303】

xv. 作動中に線形アクチュエータがツール支持体および手持ち式本体に対して旋回できるように、線形アクチュエータがツール支持体に旋回可能に結合され、手持ち式本体に旋回可能に結合される、条項xivの外科用機器。

【0304】

xvi. 一対の線形アクチュエータの第1のアクチュエータおよび一対の線形アクチュエータの第2のアクチュエータが、手持ち式本体に対するツール支持体のピッチおよび高さ方向を調整するために有効長において独立して調整可能である、条項xvの外科用機器。

40

【0305】

xvii. 回転アクチュエータがモータおよびハウジングを含む、条項xxiiiの外科用機器。

【0306】

xviii. 拘束アセンブリが回転アクチュエータのハウジングに旋回可能に結合され、拘束アセンブリをツール支持体に接続する、条項xviiの外科用機器。

【0307】

ix. 回転アクチュエータがツール支持体およびツールカプラに接続され、回転アクチュエータがツール支持体および手持ち式本体に対してツールカプラを360度回転するように構成される、条項xxiiiの外科用機器。

50

【0308】

x x x . 一対の線形アクチュエータが、手持ち式本体を二等分する長手方向の平面に沿って整列している、条項 x x i i の外科用機器。

【0309】

x x x i . 回転アクチュエータが、リング歯車に回転可能に接続された駆動部材を備えたモータを備える、条項 x x i x の外科用機器。

【0310】

x x x i i . モータの駆動部材がウォームであり、リング歯車がウォーム歯車として構成されている、条項 x x x i の外科用機器。

【0311】

x x x i i i . モータの駆動部材が平歯車である、条項 x x x i の外科用機器。

【0312】

x x x i v . 平歯車が、リング歯車と回転可能に接続されている遊び歯車に回転可能に接続されている、条項 x x i i i の外科用機器。

【0313】

x x x v . 回転アクチュエータが起動すると、リング歯車とツールカブラと一緒に回転するようにリング歯車とツールカブラが構成されている、条項 x x x i の外科用機器。

【0314】

x x x v i . ツール支持体がツールカブラの運動を駆動するための付属モータを含む、条項 x x x v の外科用機器。

【0315】

x x x v i i . ツールカブラが作動端を含み、付属モータがツールカブラの作動端を作動させるように構成され、回転アクチュエータが付属モータから独立してツールカブラを回転させるように構成される、条項 x x x v i の外科用機器。

【0316】

x x x v i i i . ツールカブラが、付属モータの回転運動をツールの振動運動に変換するために付属モータに結合されたトランスミッションを含む、条項 x x x v i の外科用機器。

【0317】

x x x i x . ツールカブラの作動端が鋸刃に取り付けられ、付属モータが起動すると鋸刃が振動する、条項 x x x v i i の外科用機器。

【0318】

x l . 付属モータが起動するとツールカブラが回転するように構成され、鋸刃が振動している間にツールカブラと鋸刃とが回転し、鋸刃の切断面を変化させる、条項 x x x i x の外科用機器。

【0319】

x l i . 回転アクチュエータのモータがツール支持体の平面に沿って配置されている、条項 x x x i の外科用機器。

【0320】

x l i i . ツールカブラが作動端を含み、付属モータがツールカブラの作動端を回転させるように構成され、回転アクチュエータがツールカブラと付属モータと一緒に回転させるように構成される、条項 x x x v i の外科用機器。

【0321】

x l i i i . 外科用ツールとともに使用するための外科用ロボット機器であって、ユーザが保持する手持ち式本体と、ツールを支持するために手持ち式本体に移動可能に結合されたツール支持体と、手持ち式本体に対して複数の自由度でツール支持体を動かすための複数のアクチュエータとを含み、複数のアクチュエータは、第1の部分が手持ち式本体に接続され、第2の部分がツール支持体に接続された上昇アクチュエータと、一対の2次アクチュエータと、を含み、一対の2次アクチュエータのそれぞれは、上昇アクチュエータに動作可能に接続されたアクチュエータ部分と、ツール支持体に動作可能に接続された支

10

20

30

40

50

持部分とを含み、一对の2次アクチュエータのそれぞれが、上昇アクチュエータとツール支持体との間で効果的に動作して、ツール支持体を上昇アクチュエータに対して動かすように構成され、上昇アクチュエータは、ツール支持体と2次アクチュエータの両方を、手持ち式本体に対して1自由度で動かすように構成されている、外科用ロボット機器。

【0322】

x l i v . 複数のアクチュエータのそれぞれが有効長で能動的に調整可能である、条項 x l i i i の外科用機器。

【0323】

x l v . 2次アクチュエータが、ツール支持体のピッチおよびロールを制御するために上昇アクチュエータとは独立して動作可能である、条項 x l i i i の外科用機器。

【0324】

x l v i . 上昇アクチュエータは、ツール支持体が手持ち式本体に隣接する収縮位置と、ツール支持体が手持ち式本体から離れて配置される延長位置との間で移動可能であり、一对の2次アクチュエータは、手持ち式本体とツール支持体との間の距離が延長位置でより大きくなるので、収縮位置と比較して延長位置でより長い移動長さを有する、条項 x l i v の外科用機器。

【0325】

x l v i i . 上昇アクチュエータが第1のストローク長を有し、各2次アクチュエータが第1のストローク長よりも短い第2のストローク長を有する、条項 x l i i i の外科用機器。

【0326】

x l v i i i . 手持ち式部分は、近位端と遠位端とを含み、上昇アクチュエータは、手持ち式部分の近位端と遠位端との間に配置され、2次アクチュエータは、上昇アクチュエータの遠位に配置される、条項 x l i i i の外科用機器。

【0327】

x l i x . 一对の2次アクチュエータは、第1の能動軸に沿って有効長が調整可能な第1のアクチュエータと、第2の能動軸に沿って有効長が調整可能な第2のアクチュエータとを備え、上昇アクチュエータは、第3の能動軸に沿って有効長が調整可能である、条項 x l i i i の外科用機器。

【0328】

l . 複数のアクチュエータの調整を制御するために複数のアクチュエータに結合され、仮想鋸切断ガイドを規定するコントローラを含む、条項 x l i v の外科用機器。

【0329】

l i . コントローラが、アクチュエータの有効長の最小値と最大値との間のホーム位置に戻るよう複数のアクチュエータを制御するように構成される、条項 l の外科用機器。

【0330】

l i i . コントローラが、仮想鋸切断ガイドを規定するために、手持ち式本体に対するツール支持体のピッチ方向、ロール方向、および並進位置を制御するように構成される、条項 l i の外科用機器。

【0331】

l i i i . コントローラが、ツール支持体に取り付けられた制御ハウジングと、制御ハウジングの内側に配置された制御盤とを備える、条項 l の外科用機器。

【0332】

l i v . ツールの運動を駆動するためのモータがツール支持体に接続されている、条項 l の外科用機器。

【0333】

l v . 外科用ツールとともに使用するための手持ち式ロボットシステムであって、ユーザが保持および支持するための手持ち部分と、外科用ツールを支持するために手持ち部分に移動可能に結合されたツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分を動作可能に相互接続して、ツール支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かして、外科用ツールを所望の

10

20

30

40

50

位置、姿勢、または方向に配置するための複数のアクチュエータとを含む機器と、手持ち部分の所望の動きを示す視覚的インジケータと、複数のアクチュエータに結合され、複数のアクチュエータの調整を制御して、外科用ツールを所望の位置、姿勢、または方向に維持するためのコントローラと、を含み、コントローラは視覚的インジケータに結合されており、コントローラは、複数のアクチュエータのアクチュエータ情報に基づいて、ユーザが機器を動かしている間、視覚的インジケータを制御し、ピッチ方向、ロール方向、および並進位置の変更を視覚的に示すように構成されている、手持ち式ロボットシステム。

【0334】

l v i i . 鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、ユーザが保持する手持ち部分と、鋸刃を支持するために手持ち部分に結合された刃支持体と、刃支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続して、手持ち部分に対して3自由度で刃支持体を動かす複数のアクチュエータとを備える機器と、刃支持体に結合された第1のトラッカーと、手持ち部分に結合された第2のトラッカーと、ローカライザを備えたナビゲーションシステムであって、ローカライザは、第1トラッカーと第2トラッカーの姿勢を決定して、鋸刃の姿勢と手持ち部分の姿勢を決定するように構成されているナビゲーションシステムと、鋸刃の姿勢、手持ち部分の姿勢、および鋸刃の所望の姿勢に基づいて鋸刃の命令された姿勢を決定するように動作可能なコントローラと、を含み、コントローラは、複数のアクチュエータのうちの1つまたは複数を制御して、命令された姿勢に向かって移動するように動作可能である、手持ち式ロボットシステム。

【0335】

l v i i i . 複数のアクチュエータの最小および最大位置に基づいて、コントローラが複数のアクチュエータのうちの1つまたは複数を制御して、命令された姿勢に向かってさらに動くように動作可能である、条項 l v i i の手持ち式ロボットシステム。

【0336】

いくつかの構成は、前述の説明において論じられてきた。しかし、本明細書で説明する構成は、網羅的であることや、教示を特定の形式に限定することを意図したものではない。使用されている用語は、限定的ではなく説明の言葉の性質を意図している。特に記載されている以外の方法で実施され得る上記の教示に照らして、多くの修正および変形が可能である。

出願時の特許請求の範囲は以下の通り。

【請求項1】

手術を行うためにツールとともに使用するための手持ち式ロボット機器であって、ユーザが保持する手持ち部分と、前記ツールを支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続して、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して3自由度で動かす複数のアクチュエータであって、前記複数のアクチュエータのそれぞれは、有効長が能動的に調整可能である複数のアクチュエータと、前記ツール支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続する受動リンケージを有する拘束アセンブリであって、前記受動リンケージは、前記ツール支持体および前記手持ち部分に結合され、前記手持ち部分に対する前記ツール支持体の動きを3自由度で拘束するように構成された拘束アセンブリとを備える手持ち式ロボット機器。

【請求項2】

前記受動リンケージは、前記複数のアクチュエータとは独立して、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記受動リンケージは、有効長が受動的に調整可能である、請求項1に記載のロボット機器。

【請求項3】

前記拘束アセンブリが、前記受動リンケージを前記ツール支持体に結合する受動リンケージジョイントを含む、請求項1または2に記載のロボット機器。

【請求項4】

前記受動リンケージジョイントが、受動リンケージUジョイントまたは受動リンケージ球形ジョイントを含む、請求項3に記載のロボット機器。

〔請求項5〕

前記受動リンケージは、シャフトと、拘束軸に沿って前記シャフトを受け入れるように構成されたスリーブとを含み、

前記受動リンケージは、前記シャフトが前記スリーブに対して前記拘束軸に沿って軸方向に摺動し、前記複数のアクチュエータの1つまたは複数の作動中に前記拘束軸に対して半径方向に前記シャフトの動きを拘束するように構成されている、請求項3または4に記載のロボット機器。

〔請求項6〕

前記受動リンケージは、前記拘束軸の周りの前記スリーブに対する前記シャフトの回転を拘束するためのキーを含む、請求項5に記載のロボット機器。

〔請求項7〕

前記複数のアクチュエータのそれぞれが能動軸に沿って配置され、前記能動軸が前記拘束軸に対して傾斜した構成で配置されるように構成されている、請求項5または6に記載のロボット機器。

〔請求項8〕

前記複数のアクチュエータを前記ツール支持体に結合する複数の第1の能動ジョイントを含む、請求項4から7のいずれか一項に記載のロボット機器。

〔請求項9〕

前記複数の第1の能動ジョイントのそれぞれは、能動Uジョイントまたは能動球形ジョイントを含む、請求項8に記載のロボット機器。

〔請求項10〕

前記第1の能動ジョイントおよび前記受動リンケージジョイントは、共通平面上に配置された平行な回転軸を規定する、請求項9に記載のロボット機器。

〔請求項11〕

前記ツール支持体は、前記ツールが前記ツール支持体に取り外し可能に結合されたときに前記ツールが前記共通平面に平行なツール平面上に配置されるように構成されたツールカブラを含む、請求項10に記載のロボット機器。

〔請求項12〕

前記ツール平面は、前記共通平面から1.0インチ以下離間している、請求項11に記載のロボット機器。

〔請求項13〕

前記複数のアクチュエータのうちの2つを前記手持ち部分に結合する第2の能動ジョイントと、前記複数のアクチュエータのうちの1つを前記手持ち部分に結合する第3の能動ジョイントとを含む、請求項9から12のいずれか一項に記載のロボット機器。

〔請求項14〕

前記第2の能動ジョイントのそれぞれは、スイベル軸の周りで前記手持ち部分に対してスイベルするように配置されたスイベルヨークを含み、

前記第3の能動ジョイントは、前記手持ち部分に固定された回転ハウジングを含む、請求項13に記載のロボット機器。

〔請求項15〕

前記第2の能動ジョイントのそれぞれは、前記スイベルヨークの1つに回転可能に結合されたキャリアを含み、

前記第3の能動ジョイントは、前記回転ハウジングに回転可能に結合されたキャリアを含む、請求項14に記載のロボット機器。

〔請求項16〕

前記キャリアのそれぞれがトラニオンを含む、請求項15に記載のロボット機器。

〔請求項17〕

前記複数のアクチュエータのそれぞれは、親ねじを含み、

10

20

30

40

50

前記キャリアは、前記親ねじをねじ込み式に受け入れるように構成され、前記親ねじのそれぞれは、前記複数のアクチュエータの対応する1つの前記有効長を調整するように、前記キャリアの対応する1つに対して回転可能である、請求項15または16のいずれか一項に記載のロボット機器。

〔請求項18〕

前記複数のアクチュエータのそれぞれは、前記親ねじの1つに固定された回転子を有するモータを含み、

前記複数のアクチュエータのそれぞれは、ハウジングを含み、前記回転子は、前記ハウジングに対して回転するように構成される、請求項17に記載のロボット機器。

〔請求項19〕

前記親ねじに固定されたストップを含み、前記ストップは、前記親ねじの移動端において前記キャリアに当接するサイズである、請求項17または18のいずれか一項に記載のロボット機器。

〔請求項20〕

前記ハウジングのそれぞれおよび対応するキャリアは、前記親ねじが前記キャリアに対して回転することを可能にするために、第1の自由度における相対運動が拘束される、請求項18または19のいずれか一項に記載のロボット機器。

〔請求項21〕

前記第1の能動ジョイントのそれぞれが、前記ハウジングの対応する1つから延びる旋回ヨークを含む、請求項18から20のいずれか一項に記載のロボット機器。

〔請求項22〕

前記複数のアクチュエータは、第1の能動軸に沿って有効長が調整可能な第1のアクチュエータと、第2の能動軸に沿って有効長が調整可能な第2のアクチュエータと、第3の能動軸に沿って有効長が調整可能な第3のアクチュエータと、を含む、請求項1から21のいずれか一項に記載のロボット機器。

〔請求項23〕

前記受動リンケージは、拘束軸に沿って有効長が調整可能であり、前記拘束軸および前記第3の能動軸は、前記複数のアクチュエータの作動全体にわたって中心面に沿った同一平面上にある、請求項22に記載のロボット機器。

〔請求項24〕

前記アクチュエータが、作動中に前記ツール支持体および前記手持ち部分に対して旋回できるように、前記アクチュエータは前記ツール支持体に旋回可能に結合され、前記手持ち部分に旋回可能に結合される、請求項22から23のいずれか一項に記載のロボット機器。

〔請求項25〕

前記第1のアクチュエータ、前記第2のアクチュエータ、および前記第3のアクチュエータは、有効長が独立して調整可能であり、前記手持ち部分に対する前記ツール支持体のロール方向、ピッチ方向、および並進位置のうちの1つまたは複数进行调整する、請求項22から24のいずれか一項に記載のロボット機器。

〔請求項26〕

前記ツール支持体は、前記ツールの運動を駆動するためのモータを含む、請求項1から25のいずれか一項に記載のロボット機器。

〔請求項27〕

前記ツール支持体は、前記モータの回転運動を前記ツールの振動運動に変換するために前記モータに結合されたトランスミッションを含む、請求項26に記載のロボット機器。

〔請求項28〕

前記ロボット機器の重量が6ポンド未満である、請求項1から27のいずれか一項に記載のロボット機器。

〔請求項29〕

前記手持ち部分が、前記ユーザによって把持され、手動で支持されるように構成される

10

20

30

40

50

、請求項 28 に記載のロボット機器。

〔請求項 30〕

手術を行う際に鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボット機器であって、
ユーザが保持する手持ち部分と、
前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体と、
前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続して、前記手持ち部分に対して
前記刃支持体を 3 自由度で動かす複数のアクチュエータと、
前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続して、前記手持ち部分に対する
前記刃支持体の動きを 3 自由度で拘束する拘束アセンブリと、
前記複数のアクチュエータに結合され、平面に沿って前記鋸刃を維持するために前記複
数のアクチュエータの調整を制御するコントローラと
を備える、手持ち式ロボット機器。

10

〔請求項 31〕

前記複数のアクチュエータは、第 1 の能動軸に沿って有効長が調整可能な第 1 のアクチ
ュエータと、第 2 の能動軸に沿って有効長が調整可能な第 2 のアクチュエータと、第 3 の
能動軸に沿って有効長が調整可能な第 3 のアクチュエータと、拘束軸に沿って有効長が調
整可能な受動リンケージとを含む、請求項 30 に記載のロボット機器。

〔請求項 32〕

前記第 1 のアクチュエータ、前記第 2 のアクチュエータ、および前記第 3 のアクチュエ
ータは、有効長が独立して調整可能であり、前記手持ち部分に対する前記刃支持体のロー
ル方向、ピッチ方向、および並進位置のうちの 1 つまたは複数を調整する、請求項 31 に
記載のロボット機器。

20

〔請求項 33〕

前記コントローラは、前記アクチュエータの前記有効長の最小値と最大値との間のホーム
位置に戻るよう前記アクチュエータを制御するように構成される、請求項 31 から 3
2 のいずれか一項に記載のロボット機器。

〔請求項 34〕

前記コントローラは、前記手持ち部分に対する前記刃支持体のピッチ方向、ロール方向
、および並進位置を制御するように構成される、請求項 30 から 33 のいずれか一項に記
載のロボット機器。

30

〔請求項 35〕

前記コントローラは、前記刃支持体に取り付けられた制御ハウジングと、前記制御ハウ
ジング内に配置された前記制御盤とを含む、請求項 30 から 34 のいずれか一項に記載の
ロボット機器。

〔請求項 36〕

前記コントローラは、前記制御盤とのデータおよび電力の通信可能な遠隔制御コンソ
ールを含む、請求項 35 に記載のロボット機器。

〔請求項 37〕

前記刃支持体は、前記鋸の運動を駆動するためのモータを含む、請求項 30 から 36 の
いずれか一項に記載のロボット機器。

40

〔請求項 38〕

前記刃支持体が、前記モータからの回転運動を前記鋸の振動運動に変換するために前記
モータに結合されたトランスミッションを含む、請求項 37 に記載のロボット機器。

〔請求項 39〕

前記手持ち部分が、前記ユーザによって把持されるためのグリップを含む、請求項 30
から 38 のいずれか一項に記載のロボット機器。

〔請求項 40〕

前記手持ち部分が、前記ユーザによって把持され、手動で支持されるように構成される
、請求項 39 に記載のロボット機器。

〔請求項 41〕

50

ナビゲーショントラッカーを取り外し可能に受け入れるために前記刃支持体に固定されたトラッカーマウントをさらに含む、請求項 30 から 40 のいずれか一項に記載のロボット機器。

〔請求項 42〕

前記機器に結合され、前記手持ち部分のピッチ方向、ロール方向、および並進における 1 つまたは複数の所望の変更を前記ユーザに視覚的に示して、所望の姿勢を達成するように制御可能であるガイダンスアレイをさらに含む、請求項 30 から 41 のいずれか一項に記載のロボット機器。

〔請求項 43〕

前記ロボット機器の重量が 6 ポンド未満である、請求項 30 から 42 のいずれか一項に記載のロボット機器。

〔請求項 44〕

手術を行う際に鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、ユーザが保持する手持ち部分と、前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に結合された刃支持体と、前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続して、前記手持ち部分に対して前記刃支持体を 3 自由度で動かすアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリと、を有する機器と、複数の視覚的インジケータを有し、前記機器に結合され、前記手持ち部分のピッチ方向、ロール方向、および並進における 1 つまたは複数の所望の変更を視覚的に前記ユーザに示して、前記手持ち部分の所望の姿勢を達成するように制御可能であるガイダンスアレイと、

前記鋸刃を所望の平面に沿って維持するために前記複数のアクチュエータの調整を制御するように構成されたコントローラと

を備え、

前記コントローラは、前記複数のアクチュエータのうちのアクチュエータのアクチュエータ情報に基づいてガイダンスアレイを制御し、前記ユーザが前記機器を動かしている間のピッチ方向、ロール方向、および並進位置の前記 1 つまたは複数の所望の変更を視覚的に示すようにさらに構成される、手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 45〕

前記アクチュエータ情報は、前記アクチュエータの測定位置、前記アクチュエータの以前の命令位置、前記アクチュエータの利用可能な移動、前記アクチュエータの制限、前記アクチュエータの以前の測定位置、前記アクチュエータの命令位置、前記アクチュエータのシミュレートされた命令位置、またはそれらの組み合わせを含む群から選択される、請求項 44 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 46〕

前記アクチュエータ情報は、前記アクチュエータの利用可能な移動および前記アクチュエータの命令位置を含む、請求項 45 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 47〕

前記複数の視覚的インジケータの視覚的インジケータは、第 1 のセグメントおよび第 2 のセグメントを含み、

前記コントローラは、前記第 1 のセグメントおよび前記第 2 のセグメントが前記手持ち部分の所望の動きの方向を示すために異なる状態で動作可能となるように、前記第 1 のセグメントおよび前記第 2 のセグメントの照明を制御するように構成される、請求項 44 から 46 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 48〕

前記複数のアクチュエータは、第 1 のアクチュエータを含み、

前記コントローラは、前記視覚的インジケータの前記第 1 のセグメントおよび前記第 2 のセグメントの照明を制御して、前記第 1 のアクチュエータに関するアクチュエータ情報に基づく前記手持ち部分の前記ピッチ方向、前記ロール方向、および前記並進位置のうち

10

20

30

40

50

の1つまたは複数における1つまたは複数の所望の変更を前記ユーザに示すように構成される、請求項47に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項49〕

前記複数の視覚的インジケータのそれぞれは、第1のセグメントおよび第2のセグメントを含み、

前記コントローラは、前記複数の視覚的インジケータの前記第1のセグメントおよび前記第2のセグメントの1つの照明を制御し、前記複数のアクチュエータのうち2つ以上のアクチュエータに関するアクチュエータ情報に基づいて、前記手持ち部分の前記並進位置を変更することを前記ユーザに示すように構成される、請求項46に記載の手持ち式ロボットシステム。

10

〔請求項50〕

前記複数の視覚的インジケータのそれぞれは、第1のセグメントおよび第2のセグメントを含み、

前記コントローラは、前記複数の視覚的インジケータの前記第1のセグメントおよび前記第2のセグメントの1つの照明を制御し、前記複数のアクチュエータのうち2つ以上のアクチュエータに関するアクチュエータ情報に基づいて、前記手持ち部分の前記ピッチ方向を変更するように前記ユーザに示すように構成される、請求項46に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項51〕

前記複数の視覚的インジケータのそれぞれは、第1のセグメントおよび第2のセグメントを含み、

前記コントローラは、前記複数の視覚的インジケータの前記第1のセグメントおよび前記第2のセグメントの1つの照明を制御し、前記複数のアクチュエータのうち2つ以上のアクチュエータに関するアクチュエータ情報に基づいて、前記手持ち部分の前記ロール方向を変更することを前記ユーザに示すように構成される、請求項46に記載の手持ち式ロボットシステム。

20

〔請求項52〕

前記第1のセグメントおよび前記第2のセグメントは、前記視覚的インジケータの中央線の両側にあり、

前記コントローラは、前記第1のセグメントおよび前記第2のセグメントの少なくとも1つを照明して、前記手持ち部分の所望の動きの方向を示すように構成されている、請求項47から51のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

30

〔請求項53〕

前記第1のセグメントおよび前記第2のセグメントが互いに隣接して配置されている、請求項47から52のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項54〕

前記コントローラは、前記第1のセグメントおよび前記第2のセグメントのそれぞれをオン状態およびオフ状態で動作させるように構成される、請求項47から53のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項55〕

前記第1のセグメントは、第1の色を放出することができる第1の照明源を含み、前記第2のセグメントは、前記第1の色とは異なる第2の色を放出することができる第2の照明源を含む、請求項47から53のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

40

〔請求項56〕

前記複数の視覚的インジケータは、第1の視覚的インジケータおよび第2の視覚的インジケータを含み、前記第1の視覚的インジケータおよび前記第2の視覚的インジケータのそれぞれは、第1のセグメントおよび第2のセグメントを含み、前記第1の視覚的インジケータの前記第1のセグメントは、前記第2の視覚的インジケータの前記第1のセグメントと共通の平面にある、請求項44から55のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

50

〔請求項 5 7〕

前記コントローラは、前記ユーザがピッチ方向の所望の変更、ロール方向の所望の変更、および並進位置の所望の変更を区別できるように前記ガイダンスアレイを動作するように構成される、請求項 4 4 から 4 7 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 5 8〕

前記複数のアクチュエータは、第 1 のアクチュエータを含み、前記複数のアクチュエータのうちの前記 1 つまたは複数に関する前記アクチュエータ情報は、前記第 1 のアクチュエータの命令位置であり、

前記複数の視覚的インジケータは、前記複数のアクチュエータの前記第 1 のアクチュエータの前記命令位置に基づいて制御される第 1 の視覚的インジケータを含む、請求項 4 6 から 5 7 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

10

〔請求項 5 9〕

前記第 1 の視覚的インジケータは、前記第 1 のアクチュエータが第 1 の命令位置にあるときに第 1 の色を放出し、前記第 1 のアクチュエータが第 2 の命令位置にあるときに第 2 の色を放出するように構成され、前記第 1 の命令位置は前記第 2 の命令位置とは異なる、請求項 5 8 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 6 0〕

前記複数のアクチュエータは、第 1 のアクチュエータを含み、前記複数のアクチュエータのうちの前記 1 つまたは複数に関する前記アクチュエータ情報は、前記第 1 のアクチュエータの命令位置および前記第 1 のアクチュエータの利用可能な移動であり、

20

前記複数の視覚的インジケータは、前記第 1 のアクチュエータの前記命令位置および前記第 1 のアクチュエータの前記利用可能な移動に基づいて制御される第 1 の視覚的インジケータを含む、請求項 4 6 から 5 7 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 6 1〕

前記第 1 の視覚的インジケータは、前記第 1 のアクチュエータの第 1 の命令位置および前記第 1 のアクチュエータの前記利用可能な移動に基づいて第 1 の色、前記第 1 のアクチュエータの第 2 の命令位置および前記第 1 のアクチュエータの前記利用可能な移動に基づく第 2 の色、および前記第 1 のアクチュエータの第 3 の命令位置に基づく第 3 の色を放出するように構成され、前記第 1 の命令位置は前記第 2 の命令位置とは異なり、前記第 2 の命令位置は前記第 3 の命令位置とは異なる、請求項 6 0 に記載の手持ち式ロボットシステム。

30

〔請求項 6 2〕

前記複数の視覚的インジケータのそれぞれは、第 1 の色を放出することができる第 1 の照明源と、前記第 1 の色とは異なる第 2 の色を放出することができる第 2 の照明源とを含む、請求項 4 4 から 6 1 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 6 3〕

前記複数の視覚的インジケータのそれぞれは、第 1 の色を放出することができる第 1 の照明源と、前記第 1 の色とは異なる第 2 の色を放出することができる第 2 の照明源と、前記第 1 の色および前記第 2 の色とは異なる第 3 の色を放出することができる第 3 の照明源とを含む、請求項 4 4 から 6 1 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

40

〔請求項 6 4〕

前記刃支持体は中心面を規定し、前記複数の視覚的インジケータは、第 1 の視覚的インジケータおよび第 2 の視覚的インジケータを含み、前記第 1 の視覚的インジケータおよび前記第 2 の視覚的インジケータは、前記中心面の両側で前記中心面からオフセットされている、請求項 4 4 から 4 7 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 6 5〕

前記刃支持体は、前記中心面に垂直な平面を規定し、前記複数の視覚的インジケータは、第 1 の視覚的インジケータおよび第 2 の視覚的インジケータおよび第 3 の視覚的インジケータを含み、

前記第 1 の視覚的インジケータおよび前記第 2 の視覚的インジケータのうちの少なくとも

50

も1つは、前記中心面に垂直な前記平面の一方側にあり、前記第3の視覚的インジケータは前記垂直な平面の反対側にある、請求項64に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項66〕

前記複数の視覚的インジケータは、第1の視覚的インジケータ、第2の視覚的インジケータ、および第3の視覚的インジケータを含み、

前記第1の視覚的インジケータ、前記第2の視覚的インジケータ、および前記第3の視覚的インジケータのそれぞれは、第1のセグメントおよび第2のセグメントを含み、

前記第1の視覚的インジケータの前記第1のセグメントは、前記第2の視覚的インジケータの前記第1のセグメントおよび前記第3の視覚的インジケータの前記第1のセグメントと共通の平面にある、請求項44から47のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項67〕

前記第1のセグメントおよび前記第2のセグメントは、第1の軸上に垂直に配置され、前記第1の軸は、前記刃支持体によって規定される平面に垂直である、請求項47に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項68〕

前記複数の視覚的インジケータのうちの少なくとも1つは、第1のセグメントおよび第2のセグメントを含み、

前記コントローラは、前記第1のセグメントおよび前記第2のセグメントが前記手持ち部分の所望の動きの方向を示すために異なる状態で動作するように、前記第1のセグメントおよび前記第2のセグメントの照明を制御するように構成される、請求項44から47のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項69〕

前記コントローラは、前記第1のセグメントおよび前記第2のセグメントの照明を制御して、前記手持ち部分の前記ピッチ方向、前記ロール方向、および前記並進位置のうちの1つまたは複数における1つまたは複数の所望の変更を前記ユーザに示すように構成される、請求項68に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項70〕

前記複数のアクチュエータは、第1のアクチュエータおよび第2のアクチュエータを含み、前記複数のアクチュエータのうちの少なくとも1つに関する前記アクチュエータ情報は、前記第1のアクチュエータの第1の命令位置および前記第2のアクチュエータの第1の命令位置であり、

前記複数の視覚的インジケータは、前記第1のアクチュエータの前記第1の命令位置および前記第2のアクチュエータの前記第1の命令位置に基づいて制御される、請求項46に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項71〕

前記複数の視覚的インジケータのうちの少なくとも1つは、前記第1のアクチュエータおよび前記第2のアクチュエータのうちの少なくとも1つの前記第1の命令位置に基づいて第1の色、前記第1のアクチュエータおよび前記第2のアクチュエータのうちの少なくとも1つの第2の命令位置に基づく第2の色を放出するように構成され、前記第1の命令位置は、前記第2の命令位置とは異なる、請求項70に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項72〕

前記複数のアクチュエータは、第1のアクチュエータおよび第2のアクチュエータを含み、前記複数のアクチュエータのうちの前記1つまたは複数に関する前記アクチュエータ情報は、前記第1のアクチュエータの命令位置および前記第1のアクチュエータの利用可能な移動、ならびに前記第2のアクチュエータの命令位置および前記第2のアクチュエータの利用可能な移動であり、

前記複数の視覚的インジケータのうちの少なくとも1つは、前記第1のアクチュエータの前記命令位置および前記第1のアクチュエータの前記利用可能な移動および前記第2のアクチュエータの前記命令位置および前記第2のアクチュエータの前記利用可能な移動に

10

20

30

40

50

基づいて制御される、請求項 7 0 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 7 3〕

前記複数の視覚的インジケータのうちの少なくとも 1 つは、前記第 1 のアクチュエータの前記第 1 の命令位置および前記第 2 のアクチュエータの前記第 1 の命令位置、ならびに前記第 1 のアクチュエータの前記利用可能な移動および前記第 2 のアクチュエータの利用可能な移動に基づいて第 1 の色、前記第 1 のアクチュエータの第 2 の命令位置および前記第 2 のアクチュエータの第 2 の命令位置に基づいて第 2 の色、および前記第 1 のアクチュエータの第 3 の命令位置および前記第 2 のアクチュエータの第 3 の命令位置に基づいて第 3 の色を放出するように構成され、

前記第 1 の命令位置は、前記第 3 の命令位置とは異なる前記第 2 の命令位置とは異なる、請求項 7 0 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 7 4〕

前記複数の視覚的インジケータは 3 つの視覚的インジケータを含み、前記 3 つの視覚的インジケータが共通平面に配置されている、請求項 4 4 から 4 7 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 7 5〕

前記複数の視覚的インジケータのそれぞれは、上部および下部を含み、前記コントローラは、前記上部および前記下部が異なる状態で動作して、前記手持ち部分の所望の動きの方向を示すように、前記上部および前記下部の照明を制御するように構成される、請求項 4 4 から 4 7 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 7 6〕

前記コントローラは、前記上部および前記下部が、前記命令位置および前記利用可能な移動に基づいて同じ状態で動作するように、前記上部および前記下部の照明を制御するように構成される、請求項 7 5 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 7 7〕

前記複数の視覚的インジケータは、第 1 の視覚的インジケータ、第 2 の視覚的インジケータ、および第 3 の視覚的インジケータを含み、前記刃支持体は、中心面を規定し、前記第 1 の視覚的インジケータおよび前記第 2 の視覚的インジケータは、前記中心面の両側で前記中心面からオフセットされ、前記中心面は、前記第 3 の視覚的インジケータを通過する、請求項 7 6 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 7 8〕

前記コントローラは、前記手持ち部分の前記ピッチ方向、前記ロール方向、および前記並進位置のうちの 1 つまたは複数における 1 つまたは複数の所望の変更を前記ユーザに示すために、前記上部および前記下部の照明を制御するように構成される、請求項 7 6 から 7 7 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 7 9〕

前記コントローラは、第 1 の状態で動作するように前記上部の照明を制御し、前記第 1 の状態とは異なる第 2 の状態で動作するように前記下部の照明を制御し、前記手持ち部分の前記並進位置を変更するように前記ユーザに示すように構成される、請求項 7 6 から 7 8 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 8 0〕

前記複数の視覚的インジケータは、第 1 の視覚的インジケータ、第 2 の視覚的インジケータ、および第 3 の視覚的インジケータを含み、前記コントローラは、第 1 の状態で動作するように前記第 3 の視覚的インジケータの前記上部の照明を制御し、前記第 1 の状態とは異なる第 2 の状態で動作するように前記第 1 の視覚的インジケータおよび前記第 2 の視覚的インジケータの前記上部の照明を制御し、前記手持ち部分の前記ピッチ方向を変更するように前記ユーザに示すように構成される、請求項 7 6 から 7 9 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 8 1〕

前記複数の視覚的インジケータは、第 1 の視覚的インジケータ、第 2 の視覚的インジケ

10

20

30

40

50

ータ、および第3の視覚的インジケータを含み、

前記コントローラは、第1の状態で作動するように前記第1の視覚的インジケータの前記上部の照明を制御し、前記第1の状態とは異なる第2の状態で作動するように前記第2の視覚的インジケータの前記上部の照明を制御して、前記手持ち部分の前記ロール方向を変更するように前記ユーザに示すように構成される、請求項76から79のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項82〕

前記複数の視覚的インジケータは、第1の視覚的インジケータ、第2の視覚的インジケータ、および第3の視覚的インジケータを含み、

前記視覚的インジケータは、前記第1の視覚的インジケータおよび前記第2の視覚的インジケータが前記第3の視覚的インジケータに対して遠位に配置されるように、前記刃支持体に沿って配置される、請求項74から81のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項83〕

前記複数の視覚的インジケータのそれぞれは、異なる状態で動作することができる上半球部分および下半球部分を備えた球形を有する、請求項74から82のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項84〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、

ユーザが保持および支持する手持ち部分と、

前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体と、

前記刃支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続して、前記刃支持体を前記手持ち部分に対して3自由度で動かして、前記鋸刃を所望の平面上に配置するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリと、を有する機器と、

前記刃手持ち部分の所望の動きを示す視覚的インジケータと、

前記鋸刃を前記所望の平面に沿って維持するために前記複数のアクチュエータの調整を制御するように構成されたコントローラと

を備え、

前記コントローラは、前記複数のアクチュエータのアクチュエータに関するアクチュエータ情報に基づいて、前記視覚的インジケータを制御し、前記ユーザが前記機器を動かしている間、ピッチ方向、ロール方向、および並進位置の変更を視覚的に示すように構成されている、手持ち式ロボットシステム。

〔請求項85〕

前記アクチュエータ情報は、前記アクチュエータの測定位置、前記アクチュエータの以前の命令位置、前記アクチュエータの利用可能な移動、アクチュエータの制限、前記アクチュエータの以前の測定位置、前記アクチュエータの命令位置、前記アクチュエータのシミュレートされた命令位置、またはそれらの組み合わせを含む群から選択される、請求項84に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項86〕

前記アクチュエータ情報は、前記アクチュエータの前記利用可能な移動および前記アクチュエータの命令位置を含む、請求項85に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項87〕

前記コントローラは、前記ユーザがピッチ方向の所望の変更、ロール方向の所望の変更、および並進位置の所望の変更を区別できるように前記視覚的インジケータを動作するように構成される、請求項84から86のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項88〕

前記複数のアクチュエータのうちの前記1つまたは複数に関する前記アクチュエータ情報は、前記複数のアクチュエータのうちの第1のアクチュエータの命令位置であり、

前記視覚的インジケータは、前記第1のアクチュエータの前記命令位置に基づいて制御

10

20

30

40

50

される、請求項 8 5 から 8 6 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 8 9〕

前記視覚的インジケータは、前記第 1 のアクチュエータの第 1 の命令位置に基づく第 1 の指示と、前記第 1 のアクチュエータの第 2 の命令位置に基づく第 2 の指示とを出力するように構成され、

前記第 1 の指示は前記第 2 の指示とは異なり、前記第 1 の命令位置は前記第 2 の命令位置とは異なる、請求項 8 8 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 9 0〕

前記アクチュエータに関する前記アクチュエータ情報は、前記複数のアクチュエータのうちの第 1 のアクチュエータの命令位置および前記第 1 のアクチュエータの前記利用可能な移動であり、

前記視覚的インジケータは、前記複数のアクチュエータの前記第 1 のアクチュエータの命令位置および前記第 1 のアクチュエータの前記利用可能な移動に基づいて制御される、請求項 8 5 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 9 1〕

前記アクチュエータ情報は、第 1 のアクチュエータの命令位置および第 2 のアクチュエータの命令位置であり、

前記視覚的インジケータは、前記第 1 のアクチュエータの前記命令位置および前記第 2 のアクチュエータの前記命令位置に基づいて制御される、請求項 8 5 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 9 2〕

前記視覚的インジケータは、前記第 1 のアクチュエータおよび前記第 2 のアクチュエータの前記命令位置に基づく第 1 の指示、および前記第 1 のアクチュエータおよび前記第 2 のアクチュエータの第 2 の命令位置に基づく第 2 の指示を出力するように構成され、前記第 1 の命令位置は、前記第 2 の命令位置とは異なる、請求項 9 1 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 9 3〕

前記アクチュエータ情報は、前記複数のアクチュエータの第 1 のアクチュエータの第 1 の命令位置および前記第 1 のアクチュエータの利用可能な移動、前記複数のアクチュエータの第 2 のアクチュエータの命令位置および前記第 2 のアクチュエータの利用可能な移動であり、

前記視覚的インジケータは、前記第 1 のアクチュエータおよび前記第 2 のアクチュエータの命令位置に基づいて、ならびに前記第 1 のアクチュエータの前記利用可能な移動および前記第 2 のアクチュエータの前記利用可能な移動に基づいて制御される、請求項 8 5 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 9 4〕

ディスプレイ画面をさらに含み、前記ディスプレイ画面は、前記視覚的インジケータを表示するように構成される、請求項 8 5 から 9 3 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 9 5〕

前記ディスプレイ画面が前記刃支持体に取り付けられている、請求項 9 4 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 9 6〕

前記ロボット機器の重量が 6 ポンド未満である、請求項 8 4 から 9 5 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 9 7〕

前記ディスプレイ画面が第 1 の部分および第 2 の部分を含み、前記第 1 の部分が第 1 の視覚的インジケータを含み、前記第 2 の部分が第 2 の視覚的インジケータを含む、請求項 9 4 から 9 6 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 9 8〕

10

20

30

40

50

前記複数のアクチュエータのうちの1つに関する前記アクチュエータ情報は、前記複数のアクチュエータのうちの第1のアクチュエータの命令位置と、前記複数のアクチュエータのうちの前記第2のアクチュエータの命令位置とであり、

前記第1の視覚的インジケータおよび前記第2の視覚的インジケータは、前記第1のアクチュエータの前記命令位置および前記第2のアクチュエータの前記命令位置に基づいて制御される、請求項97に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項99〕

前記複数のアクチュエータのうちの1つに関する前記アクチュエータ情報は、前記複数のアクチュエータの前記第1のアクチュエータの命令位置および前記第1のアクチュエータの利用可能な移動、ならびに前記第2のアクチュエータの前記命令位置および前記第2のアクチュエータの利用可能な移動であり、

前記第1の視覚的インジケータおよび前記第2の視覚的インジケータの少なくとも1つが、前記複数のアクチュエータの前記第1のアクチュエータの前記命令位置および前記第1のアクチュエータの前記利用可能な移動、ならびに前記複数のアクチュエータの前記第2のアクチュエータの前記命令位置および前記第2のアクチュエータの前記利用可能な移動に基づいて制御される、請求項98に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項100〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、

ユーザが保持する手持ち部分と、

前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に結合された刃支持体と、

前記刃支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続して、前記刃支持体を前記手持ち部分に対して3自由度で動かして、前記鋸刃を所望の平面上に配置するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリと、を有する機器と、

既知の座標系で前記鋸刃の位置および骨に関連する基準位置を決定するように構成されたローカライザと、

複数のモードで前記機器の動作を制御するために前記複数のアクチュエータに結合されたコントローラと

を備え、

前記複数のモードは、前記コントローラが前記複数のアクチュエータのそれぞれを自動的に制御して、前記鋸刃を前記手持ち部分の姿勢に対して一定の姿勢に維持する第1のモードと、前記鋸刃が前記手持ち部分の前記姿勢に対して前記所望の平面に向かって能動的に動くように、前記コントローラが前記複数のアクチュエータのそれぞれを自動的に制御する第2のモードとを含み、

前記コントローラは、前記鋸刃の前記位置と前記基準位置の前記位置に基づいて、前記第1のモードから前記第2のモードに自動的に切り替えるように構成されている、手持ち式ロボットシステム。

〔請求項101〕

ナビゲーショントラッカーを取り外し可能に受け入れるために前記刃支持体に固定されたトラッカーマウントをさらに含み、

前記ローカライザは、前記ナビゲーショントラッカーの前記位置に基づいて前記鋸刃の位置を決定するように構成される、請求項100に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項102〕

前記刃支持体は、鋸駆動モータと、前記鋸刃の振動運動を駆動するためのトランスミッションとを含む、請求項100から101のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項103〕

患者トラッカーをさらに含む、請求項100から102のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項104〕

前記コントローラは、既知の座標系で骨に関連する基準位置の位置に基づいて前記鋸駆動モータを制御するように構成され、前記基準位置は前記患者トラッカーに対して規定される、請求項 103 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 105〕

前記鋸駆動モータの速度を制御するように動作可能な入力装置をさらに備え、

前記コントローラは、前記第 1 のモードおよび前記第 2 のモード中の、骨に関連する前記基準位置の前記位置および前記鋸刃の前記位置に基づいて、前記入力装置を介した前記鋸駆動モータの作動を防止するように構成される、請求項 104 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 106〕

前記コントローラは、前記鋸刃の前記位置および前記基準位置の前記位置に基づいて距離パラメータを決定するように構成される、請求項 100 から 105 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 107〕

前記距離パラメータは、方向および大きさを含む群から選択される、請求項 106 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 108〕

前記距離パラメータが、骨から離れる方向を有し、第 1 の閾値よりも大きい大きさを有する、請求項 107 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 109〕

前記維持された姿勢が、前記複数のアクチュエータのホーム位置以外の位置を含む、請求項 100 から 108 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 110〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、

ユーザが保持する手持ち部分と、

前記手持ち部分に結合され、鋸駆動モータを含む刃支持体と、

前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続して、前記手持ち部分に対して 3 自由度で前記刃支持体を動かして、前記刃を所望の平面上に配置するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリと、を有する機器と、

前記鋸駆動モータの速度を制御するように動作可能な入力装置と、

既知の座標系で前記鋸刃の姿勢を決定するように構成されたローカライザと、

前記複数のアクチュエータに結合されたコントローラと

を備え、

前記コントローラは、前記既知の座標系で前記手持ち部分の姿勢を決定するために動作可能であり、

前記コントローラは、前記既知の座標系で前記鋸刃の所望の姿勢を決定するために動作可能であり、

前記コントローラは、前記鋸刃の前記姿勢、前記鋸刃の所望の姿勢、および前記手持ち部分の前記姿勢に基づいて、前記鋸刃の命令姿勢を決定するために動作可能であり、

前記コントローラは、

前記鋸刃が前記所望の平面上に維持され、前記鋸駆動モータが前記入力装置に応答するように、前記コントローラが前記複数のアクチュエータのそれぞれを自動的に制御する第 1 のモード、および

前記鋸駆動モータが入力装置に応答しない第 2 のモードで動作可能であり、

前記コントローラは、前記鋸刃の前記姿勢、前記手持ち部分の前記姿勢、および前記鋸刃の前記命令姿勢に基づいて、前記第 1 のモードから前記第 2 のモードに自動的に切り替わるように構成されている、手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 111〕

10

20

30

40

50

前記手持ち部分の前記姿勢は、前記複数のアクチュエータのうちのアクチュエータのアクチュエータ情報に基づいて決定される、請求項 1 1 0 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 1 1 2〕

前記アクチュエータ情報は、前記複数のアクチュエータの各アクチュエータの測定位置である、請求項 1 1 0 から 1 1 1 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 1 1 3〕

前記手持ち部分の所望の動きを示すための視覚的インジケータをさらに備え、前記コントローラは、前記視覚的インジケータに結合され、前記視覚的インジケータを制御して、前記手持ち部分のピッチ方向、ロール方向、および並進位置の変更を視覚的に示して、所望の手持ち部分の姿勢を達成するように構成される、請求項 1 1 0 から 1 1 2 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 1 1 4〕

前記視覚的インジケータは、前記複数のアクチュエータのうちのアクチュエータに関する情報に基づき、

前記アクチュエータに関する前記情報は、前記複数のアクチュエータのうちの第 1 のアクチュエータの命令位置および前記第 1 のアクチュエータの利用可能な移動であり、

前記視覚的インジケータは、前記鋸刃を前記所望の平面に動かすために前記複数のアクチュエータの前記第 1 のアクチュエータの前記命令位置および前記第 1 のアクチュエータの前記利用可能な移動に基づいて制御される、請求項 1 1 3 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 1 1 5〕

患者トラッカーをさらに備える、請求項 1 1 0 から 1 1 4 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 1 1 6〕

前記コントローラは、既知の座標系で骨に関連する基準位置の位置に基づいて前記鋸駆動モータを制御するように構成される、請求項 1 1 5 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 1 1 7〕

前記刃支持体に結合されたトラッカーをさらに備え、

前記ローカライザは、前記刃支持体に結合された前記トラッカーの姿勢に基づいて前記鋸刃の前記姿勢を決定するように構成される、請求項 1 1 0 から 1 1 6 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボット機器。

〔請求項 1 1 8〕

前記鋸刃の前記所望の姿勢が、計画された仮想物体の姿勢に基づいて決定される、請求項 1 1 0 から 1 1 7 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボット機器。

〔請求項 1 1 9〕

前記コントローラは、前記鋸刃の前記姿勢、前記手持ち部分の前記姿勢、および前記鋸刃の前記命令姿勢が、前記鋸刃の前記命令姿勢が前記複数のアクチュエータの範囲外にある状態を示しているとき、前記第 1 のモードから前記第 2 のモードに自動的に切り替えるように構成される、請求項 1 1 0 から 1 1 8 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボット機器。

〔請求項 1 2 0〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、

ユーザが保持する手持ち部分と、

前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に結合された刃支持体と、

前記刃支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続して、前記刃支持体を前記手持ち部分に対して 3 自由度で動かして、前記鋸刃を所望の平面上に配置するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリと、を有する機器と、

入力装置と、

10

20

30

40

50

第1のモードおよび第2のモードを含む複数のモードで前記複数のアクチュエータを制御するために前記複数のアクチュエータに結合されたコントローラと

を備え、

前記第1のモードでは、前記鋸刃が前記手持ち部分の姿勢に対して前記所望の平面に向かって能動的に動くように、前記コントローラが前記複数のアクチュエータのそれぞれを自動的に制御し、

前記第2のモードでは、前記コントローラが、前記手持ち部分の前記姿勢に対して前記鋸刃を一定の姿勢に維持するように自動的に制御し、

前記コントローラは、前記入力装置からの入力信号に基づいて、前記第1のモードから前記第2のモードに切り替えるように構成される、手持ち式ロボットシステム。

10

〔請求項121〕

前記入力装置は、フットスイッチ、タッチスクリーン、マイクロフォン、ポインタ、トリガー、またはそれらの組み合わせを含む群から選択される、請求項120に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項122〕

前記維持された姿勢は、前記複数のアクチュエータのうちの第1のアクチュエータのホーム位置以外の位置を含む、請求項120から121に記載のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項123〕

前記維持された姿勢は、前記複数のアクチュエータのうちの第1のアクチュエータおよび第2のアクチュエータのためのホーム以外の位置を含む、請求項122に記載の手持ち式ロボットシステム。

20

〔請求項124〕

前記第2のモードでは、前記コントローラは、骨の切断中に前記鋸刃に前記ユーザによって加えられる力に抵抗するように前記複数のアクチュエータを制御する、請求項120から123のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項125〕

複数のアクチュエータの調整挙動を自動的に制御するために鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、

ユーザが保持する手持ち部分と、

30

前記手持ち部分に結合され、前記鋸刃の運動を駆動するための鋸駆動モータを含む刃支持体と、

前記刃支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続して、前記刃支持体を前記手持ち部分に対して3自由度で動かして、前記鋸刃を所望の平面上に配置するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリと、を有する機器と、

距離パラメータを決定するために、既知の座標系で前記鋸刃の位置および骨に関連する基準位置を決定するように構成されたローカライザと、

前記複数のアクチュエータに結合されたコントローラと

を備え、

40

前記コントローラは、前記複数のアクチュエータを制御して、前記鋸刃と前記手持ち部分との間の動作パラメータの第1の値で前記鋸刃を前記所望の平面に向かって動かすように動作可能であり、

前記コントローラはさらに、前記複数のアクチュエータを制御して、前記鋸刃と前記手持ち部分との間の前記動作パラメータの第2の値で前記鋸刃を前記所望の平面に向かって動かすように動作可能であり、

前記第1の値は前記第2の値とは異なり、前記コントローラは、前記距離パラメータに基づいて前記第1の値から前記第2の値に動作を変更するように動作可能である、手持ち式ロボットシステム。

〔請求項126〕

50

前記動作パラメータは、加速度および速度を含む群から選択される、請求項 1 2 5 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 1 2 7〕

前記距離パラメータが、方向および大きさを含む群から選択される、請求項 1 2 6 および 1 2 7 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 1 2 8〕

前記コントローラは、前記距離パラメータが前記骨から離れる方向を有し、前記第 1 の閾値よりも大きい大きさを有するとき、前記動作パラメータの前記第 1 の値で前記鋸刃を前記所望の平面に向かって動かすように動作可能であり、

前記コントローラは、前記距離パラメータが前記骨から離れる方向を有し、第 2 の閾値より大きく前記第 1 の閾値よりも小さい大きさを有するとき、前記動作パラメータの前記第 2 の値で前記鋸刃を前記所望の平面に向かって動かすように動作可能であり、

前記動作パラメータは加速度であり、前記動作パラメータの前記第 2 の値は、前記動作パラメータの前記第 1 の値よりも大きい、請求項 1 2 6 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 1 2 9〕

前記コントローラは、前記距離パラメータが前記骨への方向を有し、大きさがゼロより大きい場合に、前記動作パラメータの前記第 1 の値で前記鋸刃を前記所望の平面に向かって動かすように動作可能であり、

前記動作パラメータは加速度であり、前記動作パラメータの前記第 2 の値は、前記動作パラメータの前記第 1 の値よりも大きい、請求項 1 2 6 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 1 3 0〕

前記コントローラは、前記距離パラメータが前記骨から離れる方向を有し、第 1 の閾値よりも大きい大きさを有するとき、前記動作パラメータの前記第 1 の値で前記鋸刃を前記所望の平面に向かって動かすように動作可能であり、

前記コントローラは、前記距離パラメータが前記骨から離れる方向を有し、第 2 の閾値より大きく前記第 1 の閾値よりも小さい大きさを有するとき、前記動作パラメータの前記第 2 の値で前記鋸刃を前記所望の平面に向かって動かすように動作可能であり、

前記動作パラメータは速度であり、前記動作パラメータの前記第 2 の値は、前記動作パラメータの前記第 1 の値よりも大きい、請求項 1 2 6 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 1 3 1〕

前記コントローラは、前記距離パラメータが前記骨への方向を有し、大きさがゼロより大きい場合に、前記動作パラメータの前記第 1 の値で前記鋸刃を前記所望の平面に向かって動かすように動作可能であり、

前記動作パラメータは速度であり、前記動作パラメータの前記第 2 の値は、前記動作パラメータの前記第 1 の値よりも大きい、請求項 1 2 6 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 1 3 2〕

骨に関連する前記基準位置が前記骨の表面である、請求項 1 2 5 から 1 3 1 のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 1 3 3〕

前記動作パラメータの前記第 1 の値がゼロである、請求項 1 3 1 に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項 1 3 4〕

ツールを備えたロボット機器を使用するための方法であって、前記ロボット機器は、ユーザが保持する手持ち部分と、前記ツールを支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続する複数のアクチュエータと、前記ツール支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続する受動リンケージを有する拘束アセンブリとを備え、

前記方法は、

前記複数のアクチュエータの1つまたは複数の有効長を能動的に調整することにより、前記手持ち部分に対して3自由度で前記ツール支持体を動かすステップと、

前記手持ち部分に対する前記ツール支持体の動きを3自由度で拘束するステップとを備える、方法。

〔請求項135〕

ロボット機器の動きをガイドする方法であって、前記ロボット機器は、ユーザが保持および支持するための手持ち部分と、ツールを支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続され、前記ツールを所望の軌道または平面に配置するために、前記手持ち部分に対して3自由度で前記ツール支持体を動かす複数のアクチュエータと、前記複数のアクチュエータに関連する視覚的インジケータと、を備え、

10

前記方法は、

前記複数のアクチュエータのそれぞれを最大位置と最小位置の間のホーム位置に調整するステップと、

前記手持ち部分の所望の動きを前記視覚的インジケータで示すステップとを備える、方法。

〔請求項136〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムの動きをガイドする方法であって、

前記ロボットシステムは、ユーザによって保持および支持される手持ち部分と、前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体と、前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続して、前記手持ち部分に対して前記刃支持体を3自由度で動かす複数のアクチュエータとを有する機器と、複数の視覚的インジケータを含み、前記機器に結合されるガイダンスアレイと、を備え、

20

前記方法は、

前記複数のアクチュエータのアクチュエータ情報を決定することと、

前記鋸刃を所望の平面に維持するために前記複数のアクチュエータを制御することと、

前記複数のアクチュエータの前記アクチュエータ情報に基づいて、前記手持ち部分のピッチ方向、ロール方向、および並進位置の所望の変更を視覚的に示すように前記ガイダンスアレイを制御することと

を備える、方法。

30

〔請求項137〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムの動きをガイドする方法であって、

前記ロボットシステムは、視覚的インジケータと、ユーザが保持および支持するための手持ち部分、前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体、前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続して前記刃支持体を前記手持ち部分に対して3自由度で動かすアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリを有する機器と、を備え、

前記方法は、

前記複数のアクチュエータのアクチュエータ情報を決定することと、

前記鋸刃を所望の平面に維持するために前記複数のアクチュエータを制御することと、

前記複数のアクチュエータの前記アクチュエータ情報に基づいて、前記手持ち部分のピッチ方向、ロール方向、および並進位置の所望の変更を視覚的に示すように前記視覚的インジケータを制御することと

40

を備える、方法。

〔請求項138〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムの動きを制御する方法であって、

前記ロボットシステムは、ローカライザと、ユーザが保持する手持ち部分、前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体、前記刃支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリを有する手持ち式機器と、を備え、

50

前記方法は、

既知の座標系で前記ローカライザを使用して前記鋸刃の位置を決定するステップと、

既知の座標系で骨に関連する基準位置を決定するステップと、

前記複数のアクチュエータの動作を制御して、複数のモードでロボット機器の動作を制御するステップであって、複数のモードが、

前記鋸刃を前記手持ち部分の姿勢に対して一定の姿勢に維持するために前記複数のアクチュエータのそれぞれを自動的に制御することを含む第1のモード、および

前記鋸刃が前記手持ち部分の前記姿勢に対して前記所望の平面に向かって能動的に移動するように、前記複数のアクチュエータのそれぞれを自動的に制御することを含む第2のモードを含む、ステップと、

前記鋸刃の前記位置と前記基準位置の前記位置に基づいて、前記第1モードから前記第2モードに自動的に切り替わるステップと

を備える、方法。

〔請求項139〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムの動きを制御する方法であって、

前記ロボットシステムは、ローカライザと、入力装置と、ユーザが保持する手持ち部分、

前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体、および前

記刃支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリを有する機器とを備え、前記

刃支持体は、鋸駆動モータを含み、

前記方法は、

既知の座標系で前記ローカライザを使用して前記鋸刃の姿勢を決定するステップと、

既知の座標系で前記手持ち部分の姿勢を決定するステップと、

前記鋸刃の所望の姿勢を決定するステップと、

前記鋸刃の前記姿勢、前記鋸刃の前記所望の姿勢、および前記手持ち部分の前記姿勢に基づいて、前記鋸刃の命令姿勢を決定するステップと、

前記複数のアクチュエータの動作を制御して、複数のモードで前記ロボット機器の動作を制御するステップであって、複数のモードが、

前記鋸刃が所望の平面上に維持され、前記鋸駆動モータが前記入力装置に応答するように、前記複数のアクチュエータのそれぞれを自動的に制御することを含む第1のモード、および

前記鋸駆動モータが前記入力装置に応答しない第2のモードを含む、ステップと、

前記鋸刃の前記姿勢、前記手持ち部分の前記姿勢、および前記鋸刃の前記命令姿勢に基づいて、前記第1のモードから前記第2のモードに自動的に切り替わるステップと

を備える、方法。

〔請求項140〕

鋸刃、入力装置、および手持ち式機器とともに使用するための手持ち式ロボットシステムの動きを制御する方法であって、

前記手持ち式機器は、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体と、前記刃支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリとを有し、前記刃支持体は鋸駆動モータを含み、

前記方法は、

前記複数のアクチュエータの動作を制御して、複数のモードで前記ロボット機器の動作を制御するステップであって、前記複数のモードは、

前記鋸刃が前記手持ち部分の姿勢に対して前記所望の平面に向かって能動的に動くように、前記コントローラが前記複数のアクチュエータのそれぞれを自動的に制御する第1のモード、および

前記コントローラが前記複数のアクチュエータのそれぞれを自動的に制御して、前記手持ち部分の前記姿勢に対して前記鋸刃を一定の姿勢に維持する維持する第2のモードを含

10

20

30

40

50

むステップと、

前記入力装置から受信した入力信号に基づいて、前記第2モードから前記第1モードに切り替えるステップと

を備える、方法。

〔請求項141〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムの動きを制御する方法であって、前記ロボットシステムは、ローカライザと、ユーザが保持する手持ち部分、前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体、前記刃支持体に結合されたトラッカー、および前記刃支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続するアクチュエータアセンブリを有する手持ち式機器と、を備え、前記アクチュエータアセンブリは複数のアクチュエータを含み、前記刃支持体は鋸駆動モータを含み、前記複数のアクチュエータのそれぞれはエンコーダ出力信号を出力するように動作可能なエンコーダを含み、前記方法は、

前記ローカライザを備えた前記トラッカーを使用して前記鋸刃の姿勢を決定するステップと、

前記鋸刃の所望の姿勢を決定するステップと、

前記複数のアクチュエータのそれぞれの位置を決定するステップと、

前記複数のアクチュエータのそれぞれの前記位置に基づいて、前記手持ち部分の姿勢を決定するステップと、

前記ローカライザによって決定された前記鋸刃の前記姿勢、前記鋸刃の前記所望の姿勢、および前記手持ち部分の前記姿勢に基づいて、前記鋸刃の命令姿勢を決定するステップと、

前記命令姿勢、および前記複数のアクチュエータのそれぞれの前記位置に基づいて、前記複数のアクチュエータのそれぞれの命令位置を決定するステップと、

前記命令位置に基づいて複数のアクチュエータのそれぞれを制御するステップとを備える、方法。

〔請求項142〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムの動きを制御する方法であって、前記ロボットシステムは、ローカライザと、第1トラッカーと、第2トラッカーと、ユーザによって保持される手持ち部分、前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体、および前記刃支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続するアクチュエータアセンブリを有する手持ち式機器とを備え、前記第1のトラッカーは前記刃支持体に結合され、前記第2のトラッカーは前記手持ち部分に結合され、前記アクチュエータアセンブリは複数のアクチュエータを含み、

前記方法は、

前記ローカライザを使用して、前記第1のトラッカーで前記鋸刃の姿勢を決定するステップと、

前記ローカライザを使用して、前記第2のトラッカーで前記手持ち部分の姿勢を決定するステップと、

前記鋸刃の前記姿勢および前記手持ち部分の前記姿勢に基づいて、前記複数のアクチュエータのうちの1つまたは複数を制御して、所望の平面に向かって移動するステップとを備える、方法。

〔請求項143〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムの動きを制御する方法であって、前記ロボットシステムは、ローカライザと、ユーザが保持する手持ち部分、前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体、および前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリを有する手持ち式機器と、を備え、

前記方法は、

既知の座標系で前記ローカライザを使用して前記鋸刃の位置を決定するステップと、

10

20

30

40

50

前記既知の座標系で骨に関連する基準位置の位置を決定するステップと、
前記基準位置の前記位置と前記鋸刃の前記位置に基づいて距離パラメータを決定するステップと、

前記鋸刃と前記手持ち部分との間の動作パラメータの第1の値で、前記鋸刃を前記所望の平面に向かって動かすように前記複数のアクチュエータを制御するステップと、

前記鋸刃と前記手持ち部分との間の前記動作パラメータの第2の値で、前記鋸刃を前記所望の平面に向かって動かすように前記複数のアクチュエータを制御するステップと

を備え、

前記第1の値は前記第2の値とは異なり、前記コントローラは、前記距離パラメータに基づいて前記第1の値から前記第2の値に動作を変更するように動作可能である、方法。

[請求項144]

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、

ユーザが保持する手持ち部分と、

前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に結合された刃支持体と、

前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続して、前記手持ち部分に対して前記刃支持体を3自由度で動かすアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含む、アクチュエータアセンブリとを含む機器と、

複数の視覚的インジケータを含み、前記機器に結合され、前記手持ち部分のピッチ方向、ロール方向、および並進における1つまたは複数の所望の変更を視覚的に前記ユーザに示して、前記手持ち部分の所望の姿勢を達成するように制御可能であるガイダンスアレイと、

前記複数のアクチュエータに結合され、前記鋸刃の姿勢および前記手持ち部分の前記姿勢に基づいて前記鋸刃を所望の平面に沿って維持するために前記複数のアクチュエータの調整を制御するコントローラと

を備え、

前記コントローラは前記ガイダンスアレイにさらに結合され、前記コントローラは、前記ガイダンスアレイを制御し、前記ユーザが前記刃の前記所望の平面に基づいて前記機器を動かしている間、ピッチ方向、ロール方向、および並進位置の前記1つまたは複数の所望の変更を視覚的に示すように構成される、手持ち式ロボットシステム。

[請求項145]

前記鋸刃の前記姿勢および前記手持ち部分の前記姿勢を決定するように構成されたローカライザをさらに備える、請求項144に記載の手持ち式ロボットシステム。

[請求項146]

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、

ユーザが保持および支持する手持ち部分と、

前記刃を支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体と、

前記刃支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続して、前記刃支持体を前記手持ち部分に対して3自由度で動かして前記鋸刃を所望の平面に配置するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリと、を有する機器と、

前記手持ち部分の所望の動きを示す視覚的インジケータと、

前記複数のアクチュエータに結合され、前記鋸刃の姿勢および前記手持ち部分の前記姿勢に基づいて前記鋸刃を前記所望の平面に沿って維持するために前記複数のアクチュエータの調整を制御するコントローラと

を備え、

前記コントローラは前記視覚的インジケータに結合され、前記コントローラは、前記刃の前記所望の平面に基づいて所望の手持ち部分の姿勢を達成するために、前記手持ち部分のピッチ方向、ロール方向、および並進位置の変更を視覚的に示すように前記視覚的インジケータを制御するように構成される、手持ち式ロボットシステム。

[請求項147]

前記鋸刃の前記姿勢および前記手持ち部分の前記姿勢を決定するように構成されたローカライザをさらに備える、請求項146に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項148〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、

ユーザが保持する手持ち部分と、

前記手持ち部分に結合され、前記鋸刃の運動を駆動するための鋸駆動モータを含む刃支持体と、

前記刃支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続して、前記刃支持体を前記手持ち部分に対して3自由度で動かして、前記鋸刃を所望の平面上に配置するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリと、を有する機器と、

10

既知の座標系の前記鋸刃の位置および骨に関連する基準位置を決定するように構成されたローカライザと、

前記複数のアクチュエータに結合されたコントローラと

を備え、

前記コントローラは、前記複数のアクチュエータを制御して、前記鋸刃と前記手持ち部分との間の動作パラメータの第1の値で前記鋸刃を前記所望の平面に向かって動かすように動作可能であり、

前記コントローラはさらに、前記複数のアクチュエータを制御して、前記鋸刃と前記手持ち部分との間の前記動作パラメータの第2の値で前記鋸刃を前記所望の平面に向かって動かすように動作可能であり、

20

前記第1の値は前記第2の値とは異なり、前記コントローラは、前記鋸刃の前記位置および骨に関連する前記基準位置の前記位置に基づいて、動作を前記第1の値から前記第2の値に変更するように動作可能である、手持ち式ロボットシステム。

〔請求項149〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、

ユーザが保持する手持ち部分と、

前記手持ち部分に結合され、前記鋸刃の運動を駆動するための鋸駆動モータを含む刃支持体と、

前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続して、前記刃支持体を前記手持ち部分に対して3自由度で動かして前記鋸刃を所望の平面に配置するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリと、を有する機器と、

30

既知の座標系の前記鋸刃の位置および骨に関連する基準位置を決定するように構成されたローカライザと、

前記複数のアクチュエータに結合されたコントローラと

を備え、

前記コントローラは、前記複数のアクチュエータを制御して前記鋸刃を前記所望の平面に向かって動かすように動作可能であり、

前記コントローラはさらに、前記鋸駆動モータのモータパラメータを第1の値および第2の値で制御するように動作可能であり、

40

前記第1の値は前記第2の値とは異なり、前記コントローラは、前記鋸刃の前記位置および前記骨に関連する前記基準位置の前記位置に基づいて、動作を前記第1の値から前記第2の値に変更するように動作可能である、手持ち式ロボットシステム。

〔請求項150〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、

ユーザが保持する手持ち部分と、

前記手持ち部分に結合され、前記鋸刃の動きを駆動するための鋸駆動モータを含む刃支持体と、

前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続して、前記刃支持体を前記手持

50

ち部分に対して3自由度で動かして前記鋸刃を所望の平面に配置するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリと、を有する機器と、

距離パラメータを決定するために、既知の座標系で前記鋸刃の位置および骨に関連する基準位置を決定するように構成されたローカライザと、

前記複数のアクチュエータに結合されたコントローラとを備え、

前記コントローラは、前記複数のアクチュエータを制御して前記鋸刃を前記所望の平面に向かって動かすように動作可能であり、

前記コントローラはさらに、前記鋸駆動モータのモータパラメータを第1の値および第2の値で制御するように動作可能であり、

前記第1の値は前記第2の値とは異なり、前記コントローラは、前記距離パラメータに基づいて前記第1の値から前記第2の値に動作を変更するように動作可能である、手持ち式ロボットシステム。

〔請求項151〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、

ユーザが保持する手持ち部分と、

前記手持ち部分に結合され、前記鋸刃の運動を駆動するための鋸駆動モータを含む刃支持体と、

前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続して、前記刃支持体を前記手持ち部分に対して3自由度で動かして前記鋸刃を所望の平面に配置するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリと、を有する機器と、

前記複数のアクチュエータに結合されたコントローラとを備え、

前記コントローラは、

前記鋸刃の姿勢、

前記鋸刃の所望の姿勢、

前記複数のアクチュエータのそれぞれの位置、

前記複数のアクチュエータのそれぞれの前記現在の位置に基づく手持ち部分の姿勢、

前記鋸刃の前記姿勢、前記鋸刃の前記所望の姿勢、および前記手持ち部分の前記姿勢に基づく鋸刃の命令姿勢、および

前記命令姿勢、および前記位置に基づく前記複数のアクチュエータのそれぞれの命令位置を決定するように動作可能であり、

前記コントローラは、前記命令位置に基づいて前記複数のアクチュエータのそれぞれを制御するように動作可能である、手持ち式ロボットシステム。

〔請求項152〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、

ユーザが保持する手持ち部分と、

前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に結合された刃支持体と、

前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続して、前記手持ち部分に対して前記刃支持体を3自由度で動かすアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリと、を有する機器と、

複数の視覚的インジケータを含み、前記機器に結合され、前記鋸刃のピッチ方向、ロール方向、および並進における前記1つまたは複数の所望の変更を視覚的に前記ユーザに示して、前記手持ち部分の所望の姿勢を達成するように制御可能であるガイダンスアレイと、前記ガイダンスアレイに結合されたコントローラと

を備え、

前記コントローラは、前記ユーザが前記複数のアクチュエータのうちの1つまたは複数に関するアクチュエータ情報に基づいて前記機器を動かしている間、ピッチ方向、ロール

10

20

30

40

50

方向、および並進位置における前記鋸刃の前記1つまたは複数の所望の変更を視覚的に示すように前記ガイダンスアレイを制御するように構成される、手持ち式ロボットシステム。

〔請求項153〕

前記アクチュエータ情報は、前記アクチュエータの測定位置、以前に命令された位置、前記アクチュエータの利用可能な移動、前記アクチュエータの制限、前記アクチュエータの以前の測定位置、前記アクチュエータの命令位置、前記アクチュエータのシミュレートされた命令位置、またはそれらの組み合わせを含む群から選択される、請求項152に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項154〕

前記アクチュエータ情報が、前記アクチュエータの利用可能な移動および前記アクチュエータのシミュレートされた命令位置を含む、請求項153に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項155〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、
ユーザが保持および支持する手持ち部分と、
前記刃を支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体と、
前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続して、前記刃支持体を前記手持ち部分に対して3自由度で動かして前記鋸刃を所望の平面に配置するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリと、を有する機器と、

前記鋸刃の所望の動きを示す視覚的インジケータと、
前記視覚的インジケータに結合されたコントローラと
を備え、
前記コントローラは、前記視覚的インジケータを制御し、前記複数のアクチュエータのアクチュエータ情報に基づいて、前記ユーザが前記機器を動かしている間、前記鋸刃のピッチ方向、ロール方向、および並進位置の変更を視覚的に示すように構成されている、手持ち式ロボットシステム。

〔請求項156〕

前記アクチュエータ情報は、前記アクチュエータの測定位置、以前の命令位置、前記アクチュエータの利用可能な移動、前記アクチュエータの制限、前記アクチュエータの以前の測定位置、前記アクチュエータの命令位置、前記アクチュエータのシミュレートされた命令位置、またはそれらの組み合わせを含む群から選択される、請求項155に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項157〕

前記アクチュエータ情報が、前記アクチュエータの利用可能な移動および前記アクチュエータのシミュレートされた命令位置を含む、請求項155に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項158〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、
ユーザが保持する手持ち部分と、
前記ツールを支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体と、
前記刃支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続して、前記刃支持体を前記手持ち部分に対して3自由度で動かして、前記鋸刃を所望の平面上に配置するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含み、前記複数のアクチュエータのそれぞれは、最大位置と最小位置との間で調整可能であり、前記最大位置と前記最小位置との間のホーム位置を有するアクチュエータアセンブリと、

前記手持ち部分の所望の動きを示す視覚的インジケータと、
複数のモードでの動作を制御するために前記複数のアクチュエータと前記視覚的インジケータに結合されたコントローラと
を備え、

10

20

30

40

50

前記複数のモードは、前記コントローラが前記複数のアクチュエータのそれぞれをそれらのホーム位置に自動的に調整する第1のモード、および前記鋸刃は概して前記所望の平面上に配置され、前記コントローラが前記鋸刃を前記所望の平面上に維持するために前記手持ち部分の所望の動きを示す第2のモードを含む、手持ち式ロボットシステム。

〔請求項159〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、
ユーザが保持および支持する手持ち部分と、
前記刃を支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合された刃支持体と、
前記刃支持体と前記手持ち部分を動作可能に相互接続して、前記刃支持体を前記手持ち部分に対して3自由度で動かして、前記鋸刃を所望の平面上に配置するアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブリと、を有する機器と、

既知の座標系で前記鋸刃の位置および骨に関連する基準位置を決定するように構成されたローカライザと、

視覚的インジケータと、

前記視覚的インジケータに結合されたコントローラと
を備え、

前記コントローラは、第1のモードで前記視覚的インジケータを制御し、前記複数のアクチュエータのアクチュエータ情報に基づいて、前記ユーザが前記機器を動かしている間、前記鋸刃のピッチ方向、ロール方向、および並進位置の変更を視覚的に示すように構成され、

前記コントローラはさらに、第2のモードで前記視覚的インジケータを制御して、前記ユーザが前記複数のアクチュエータのアクチュエータ情報に基づいて前記機器を動かしている間、前記手持ち部分のピッチ方向、ロール方向、および並進位置の変更を視覚的に示すように構成され、

前記コントローラは、前記鋸刃の前記位置と前記基準位置の前記位置に基づいて、または入力装置から受信した入力信号に基づいて、前記第1のモードと前記第2のモードとの間で切り替わるように構成されている、手持ち式ロボットシステム。

〔請求項160〕

前記コントローラは、前記鋸刃の前記位置および前記基準位置の前記位置に基づいて距離パラメータを決定するように構成される、請求項159に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項161〕

前記距離パラメータは、方向および大きさを含む群から選択される、請求項160に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項162〕

前記距離パラメータが、骨から離れる方向を有し、第1の閾値よりも大きい大きさを有する、請求項160に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項163〕

前記第1のモードにある間、前記コントローラは、前記複数のアクチュエータのそれぞれを自動的に制御して、前記鋸刃を前記手持ち部分の姿勢に対して一定の姿勢に維持し、
前記第2のモードにある間、前記コントローラは、前記鋸刃が前記手持ち部分の前記姿勢に対して前記所望の平面に向かって能動的に動くように、前記複数のアクチュエータのそれぞれを自動的に制御する、請求項159から162のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項164〕

鋸刃と共に使用するための手持ち式ロボットシステムであって、
ユーザが保持する手持ち部分と、
前記鋸刃を支持するために前記手持ち部分に結合された刃支持体と、
前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続して、前記手持ち部分に対して

前記刃支持体を3自由度で動かすアクチュエータアセンブリであって、複数のアクチュエータを含む、アクチュエータアセンブリを有する機器と、

既知の座標系で前記鋸刃の位置および骨に関連する基準位置を決定するように構成されたローカライザと、

複数の視覚的インジケータを含むガイダンスアレイと、

前記ガイダンスアレイに結合されたコントローラと

を備え、

前記コントローラは、第1のモードで前記ガイダンスアレイを制御し、前記複数のアクチュエータのうちの1つまたは複数に関するアクチュエータ情報に基づいて前記ユーザが前記機器を動かしている間、ピッチ方向、ロール方向、並進位置の前記鋸刃の1つまたは複数の所望の変更を視覚的に示すように構成され、

前記コントローラはさらに、第2のモードで前記ガイダンスアレイを制御して、前記複数のアクチュエータのアクチュエータ情報に基づいて前記ユーザが前記機器を動かしている間に、前記手持ち部分のピッチ方向、ロール方向、および並進位置の1つまたは複数の変更を視覚的に示すように構成され、

前記コントローラは、前記鋸刃の前記位置と前記基準位置の前記位置に基づいて、または入力装置から受信した入力信号に基づいて、前記第1のモードと前記第2のモードとを切り替えるように構成されている、手持ち式ロボットシステム。

〔請求項165〕

前記コントローラは、前記鋸刃の前記位置および前記基準位置の前記位置に基づいて距離パラメータを決定するように構成される、請求項164に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項166〕

前記距離パラメータが、方向および大きさを含む群から選択される、請求項165に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項167〕

前記距離パラメータが、骨から離れる方向を有し、第1の閾値よりも大きい大きさを有する、請求項166に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項168〕

前記第1のモードにある間、前記コントローラは、前記複数のアクチュエータのそれぞれを自動的に制御して、前記鋸刃を前記手持ち部分の姿勢に対して一定の姿勢に維持し、

前記第2のモードにある間、前記コントローラは、前記鋸刃が前記手持ち部分の前記姿勢に対して前記所望の平面に向かって能動的に動くように、前記複数のアクチュエータのそれぞれを自動的に制御する、請求項164から167のいずれか一項に記載の手持ち式ロボットシステム。

〔請求項169〕

請求項1から168の特徴のいずれかを任意選択的に含む、ツールとともに使用するための外科用ロボット機器であって、

遠位端と近位端を有し、ユーザが保持するピストルグリップと、

前記ツールを支持するために前記ピストルグリップに移動可能に結合されたツール支持体と、

前記ツール支持体と前記ピストルグリップを動作可能に相互接続して、前記ピストルグリップに対して複数の自由度で前記ツール支持体を動かす複数のアクチュエータと

を備え、

前記複数のアクチュエータは、

シャフトに接続された前記ピストルグリップに配置されたモータと、前記ツール支持体に接続され、前記モータが作動すると前記シャフトに沿って移動するキャリッジとを有する上昇アクチュエータと、

一对の2次アクチュエータであって、各2次アクチュエータは前記キャリッジおよび前記ツール支持体と結合されている一对の2次アクチュエータと、を含み、

前記２次アクチュエータは、前記上昇アクチュエータの遠位に配置されている、外科用ロボット機器。

〔請求項１７０〕

請求項１から１６８の特徴のいずれかを任意選択的に含む、外科用ロボット機器であって、

ユーザが保持する手持ち式本体と、

前記手持ち式本体に移動可能に結合されたツール支持体と、

前記ツール支持体によって支持されるツールカプラと、

前記手持ち式本体に対して複数の自由度で前記ツール支持体を動かすための複数のアクチュエータと

を備え、

前記複数のアクチュエータは、

前記ツール支持体と前記手持ち式本体を動作可能に相互接続する一対の線形アクチュエータであって、前記一対の線形アクチュエータのそれぞれは、前記手持ち式本体に接続された第１の部分と前記ツール支持体に接続された第２の部分とを有し、前記一対の線形アクチュエータは、前記手持ち式本体に対する前記ツール支持体の高さとピッチを制御するように構成されている一対の線形アクチュエータと、

前記ツール支持体および前記手持ち式本体に対する前記ツールカプラのロール運動を制御するように構成された回転アクチュエータと、を含む、外科用ロボット機器。

〔請求項１７１〕

任意選択的に請求項１から１６８の特徴のいずれかを含む、外科用ツールとともに使用するための外科用ロボット機器であって、

ユーザが把持する手持ち式本体と、

前記ツールを支持するために前記手持ち式本体に移動可能に結合されたツール支持体と、

前記手持ち式本体に対して複数の自由度で前記ツール支持体を動かすための複数のアクチュエータと

を備え、

前記複数のアクチュエータは、

第１の部分が前記手持ち式本体に接続され、第２の部分が前記ツール支持体に接続された上昇アクチュエータと、

一対の２次アクチュエータであって、前記一対の２次アクチュエータのそれぞれは、前記上昇アクチュエータに動作可能に接続されたアクチュエータ部分と、前記ツール支持体に動作可能に接続された支持部分とを有し、前記一対の２次アクチュエータのそれぞれが、前記上昇アクチュエータと前記ツール支持体との間で効果的に動作して、前記ツール支持体を前記上昇アクチュエータに対して動かすように構成された一対の２次アクチュエータと、を含み、

前記上昇アクチュエータは、前記ツール支持体と前記２次アクチュエータの両方を、前記手持ち式本体に対して１自由度で動かすように構成されている、外科用ロボット機器。

10

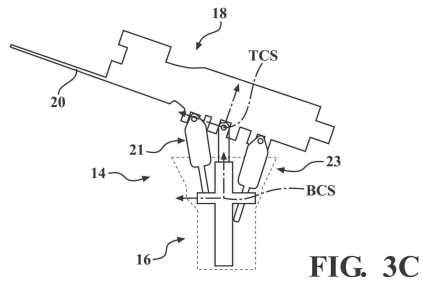
20

30

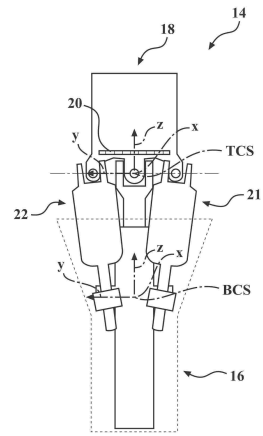
40

50

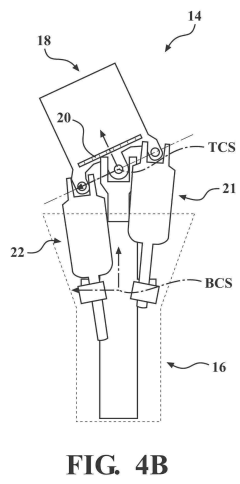
【図 3 C】



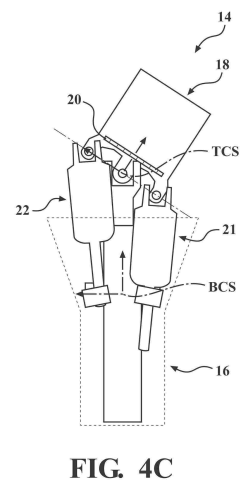
【図 4 A】



【図 4 B】



【図 4 C】



10

20

30

40

50

【図 5 A】

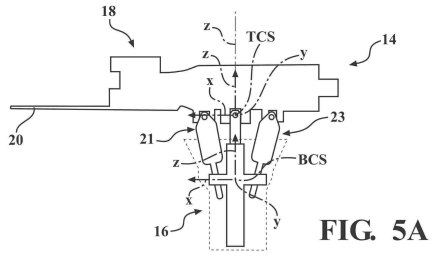


FIG. 5A

【図 5 B】

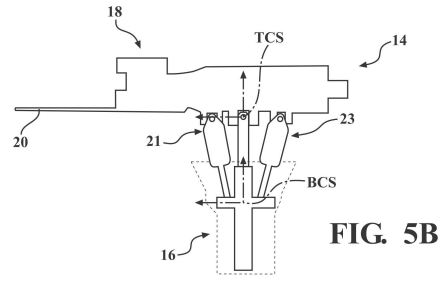


FIG. 5B

10

【図 5 C】

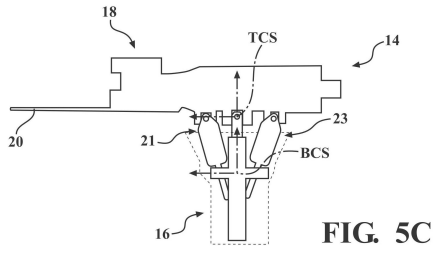


FIG. 5C

【図 6】

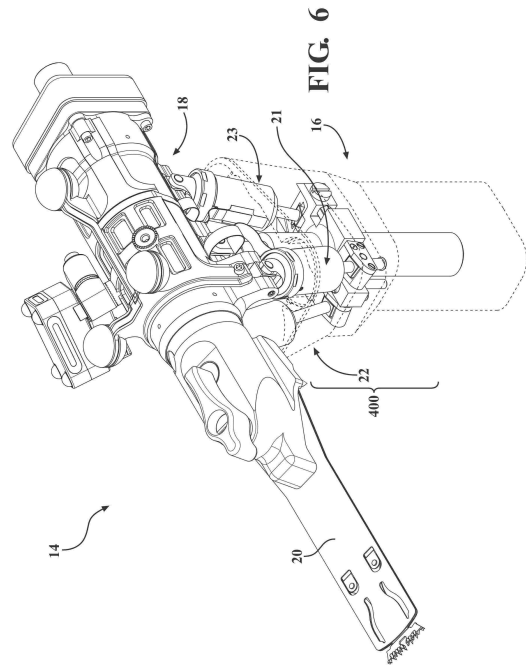


FIG. 6

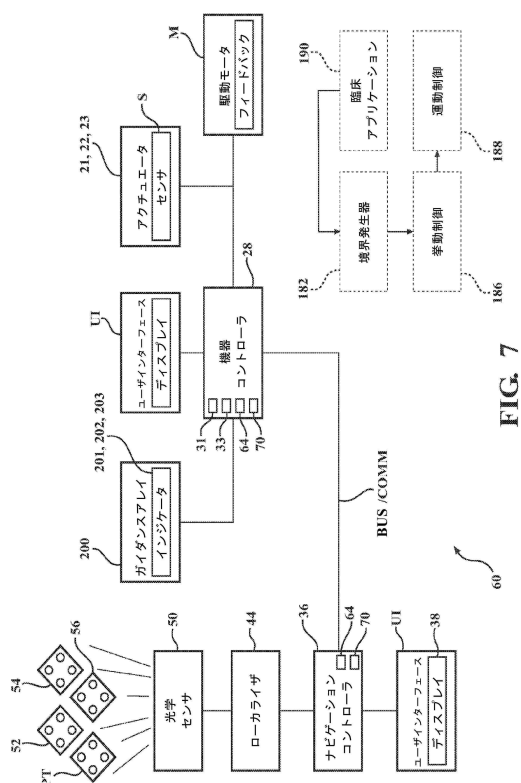
20

30

40

50

【圖 7】



【圖 8】

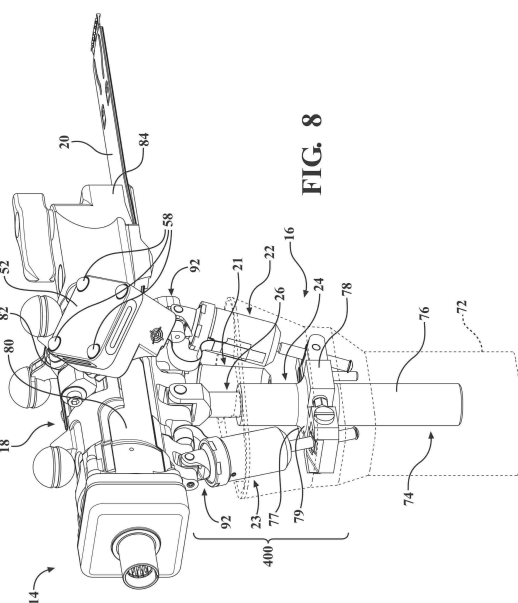


FIG. 8

【図 9】

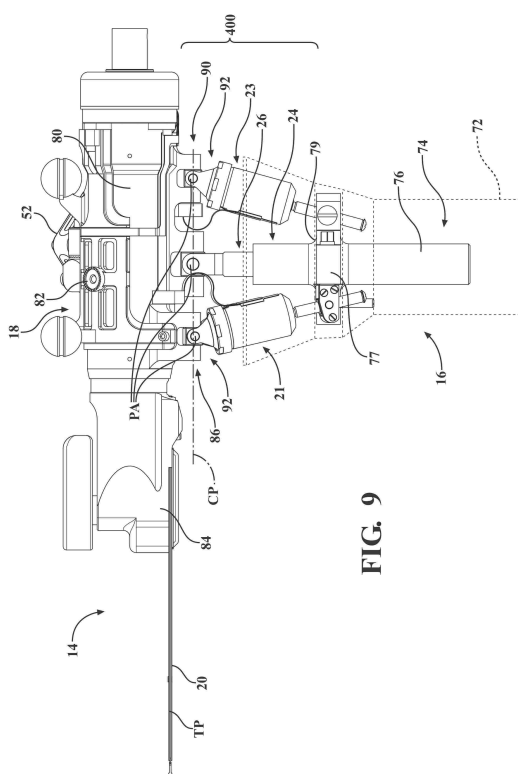


FIG. 9

【図 10】

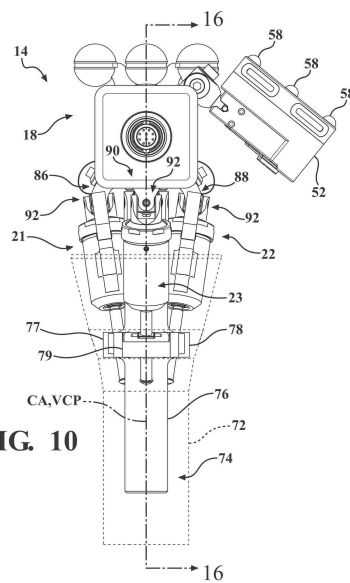
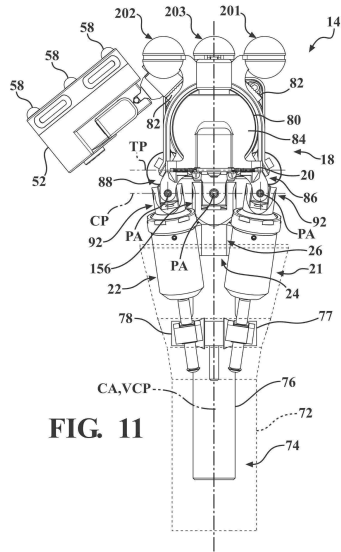
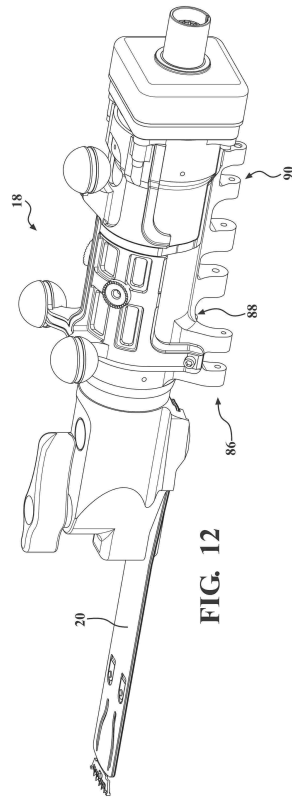


FIG. 10

【図 1 1】



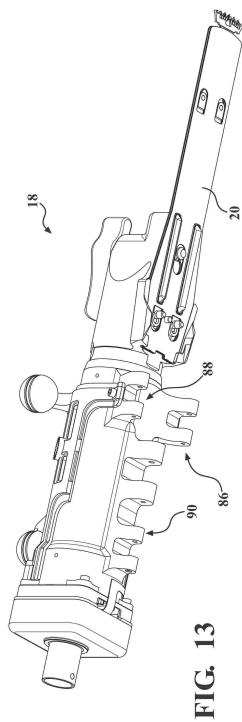
【図 1 2】



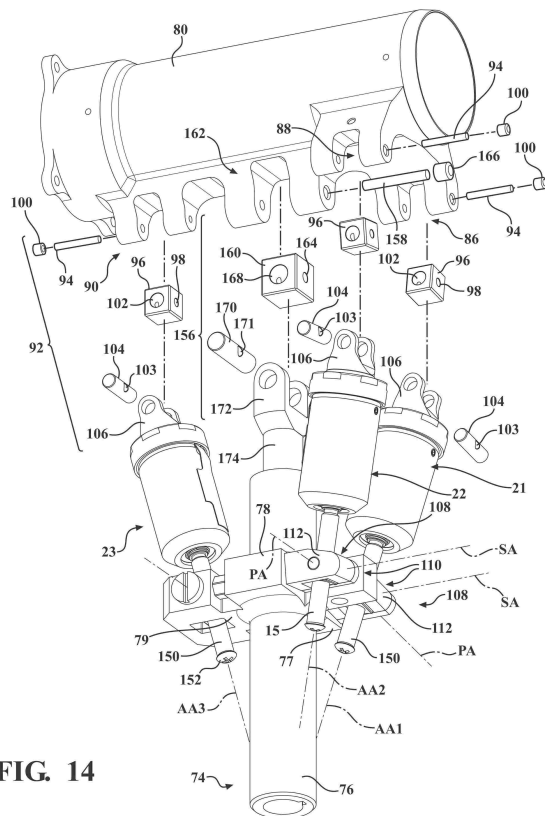
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】

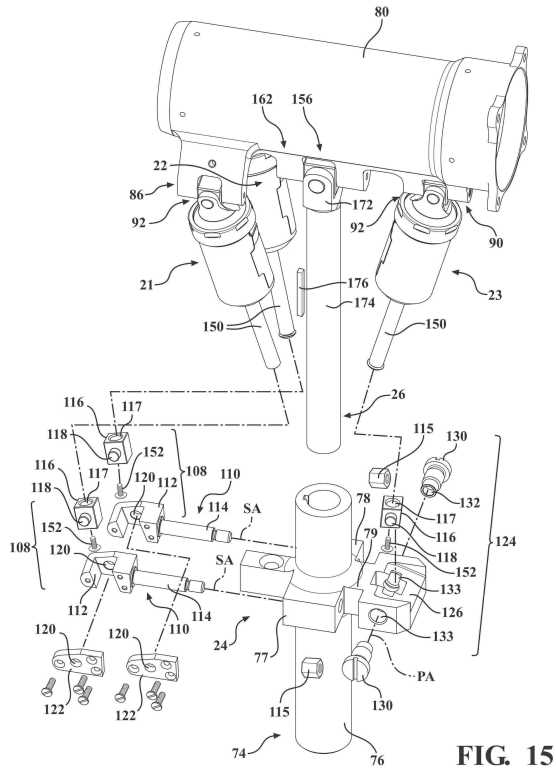


30

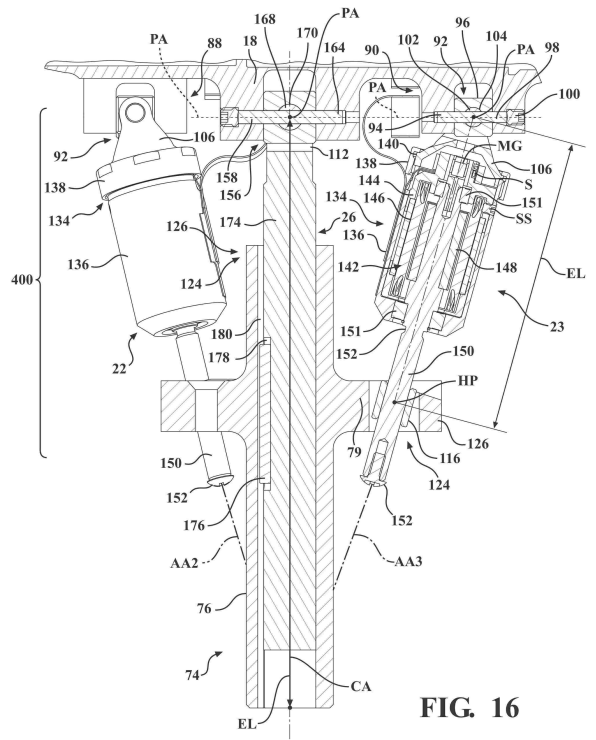
40

50

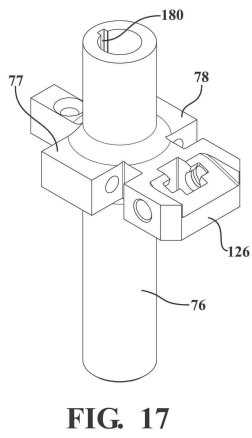
【図 1 5】



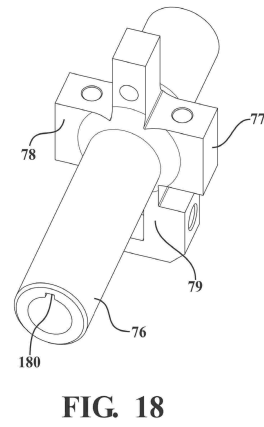
【図 1 6】



【図 1 7】



【図 1 8】



10

20

30

40

50

【図 19】

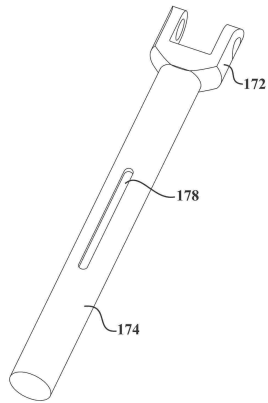


FIG. 19

【図 20】

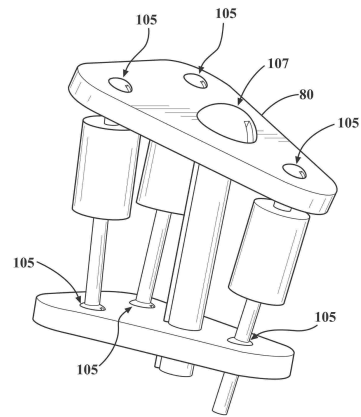


FIG. 20

【図 2 1】

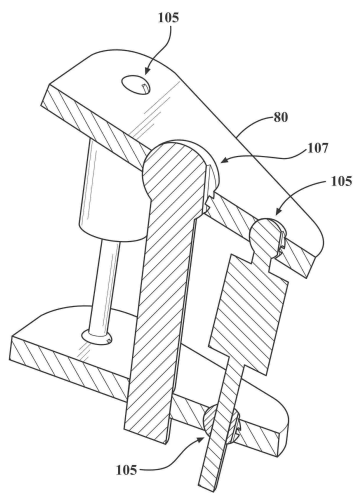


FIG. 21

【図 22】

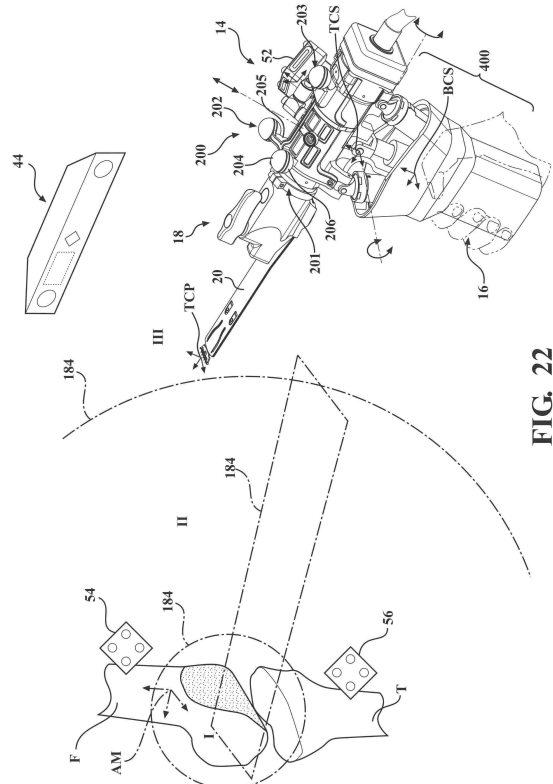
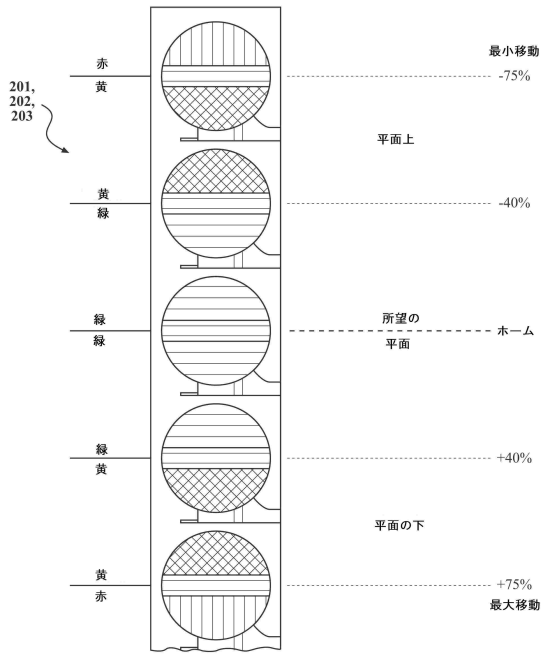
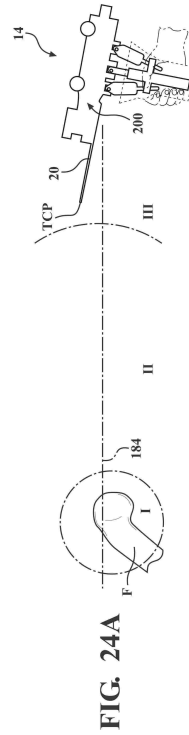


FIG. 22

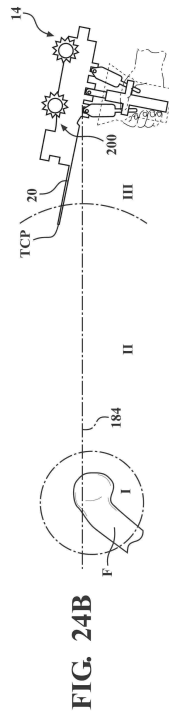
【図 2 3 E】



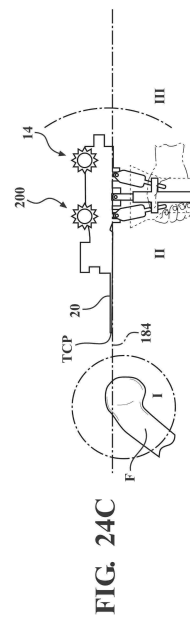
【図 2 4 A】



【図 2 4 B】



【図 2 4 C】



10

20

30

40

50

【図 2 5 A】

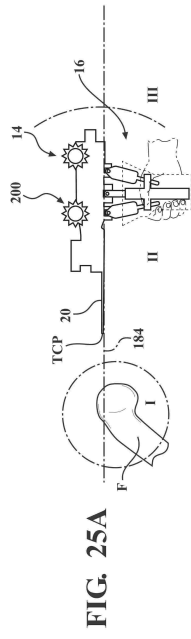


FIG. 25A

【図 2 5 B】

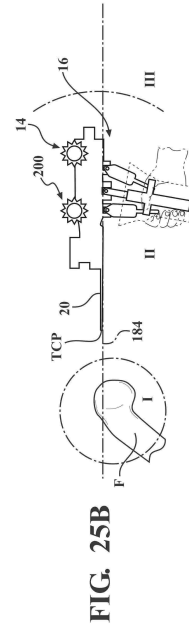


FIG. 25B

【図 2 5 C】

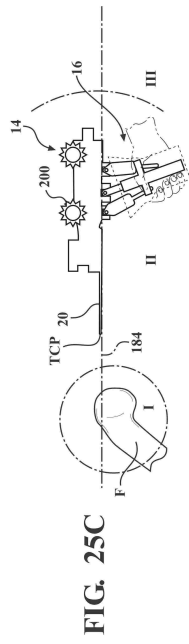


FIG. 25C

【図 2 6 A】

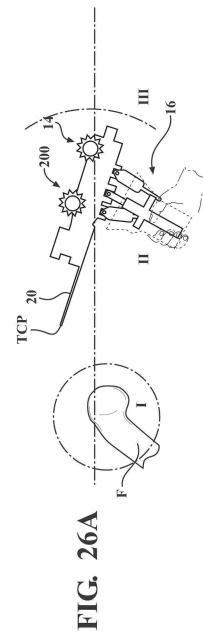


FIG. 26A

10

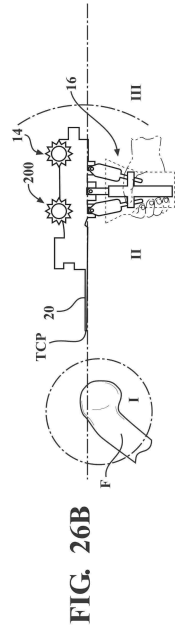
20

30

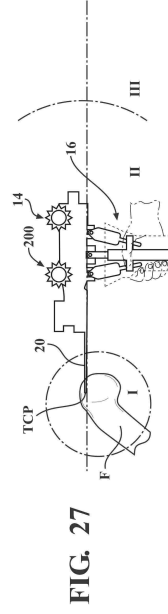
40

50

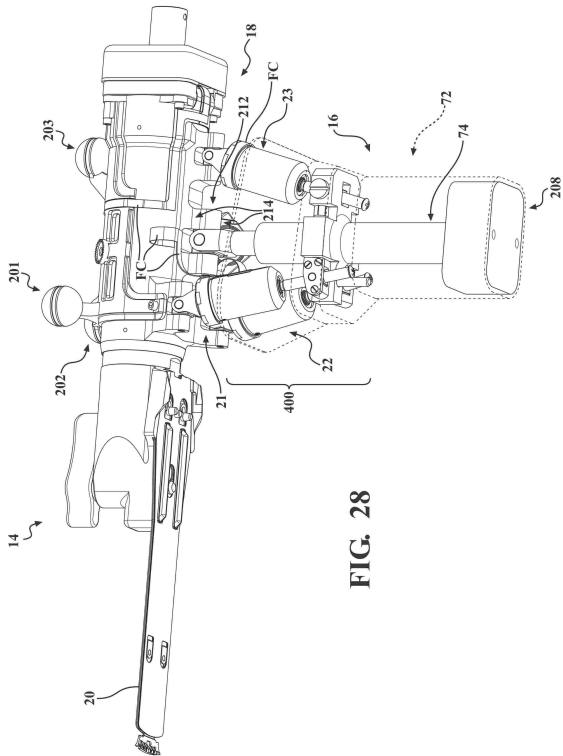
【図 2 6 B】



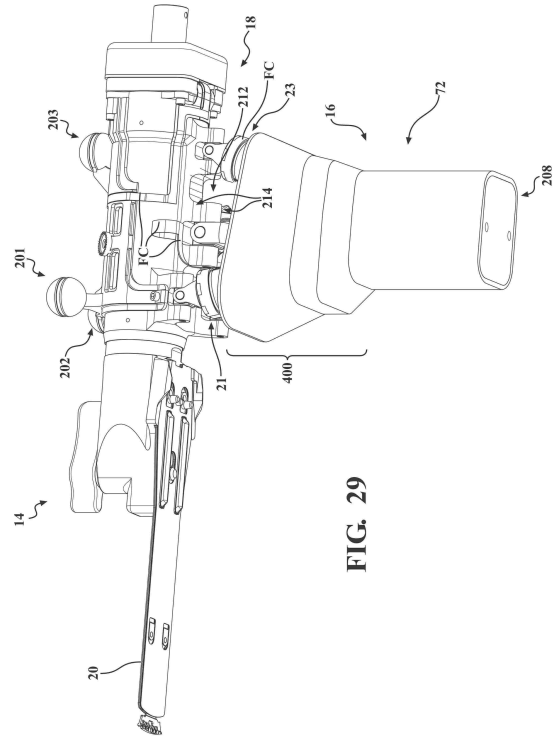
【図 2 7】



【図 2 8】



【図 2 9】



10

20

30

40

50

【図 3 0】

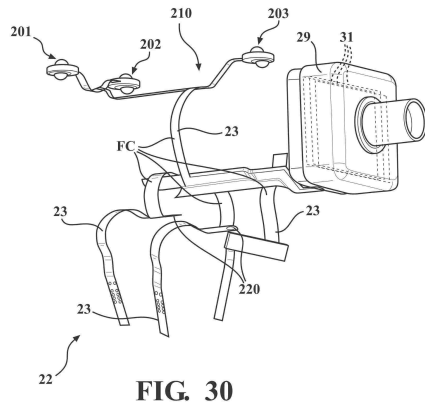


FIG. 30

【図 3 1】

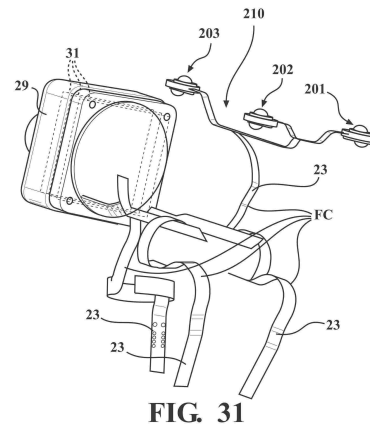


FIG. 31

【図 3 2】

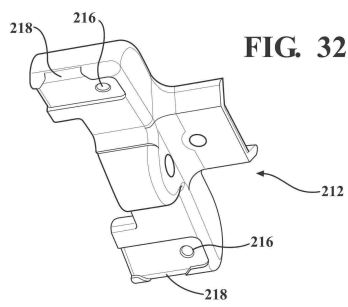


FIG. 32

【図 3 3】

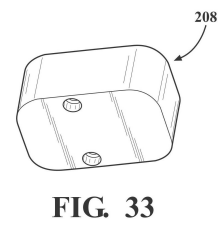


FIG. 33

10

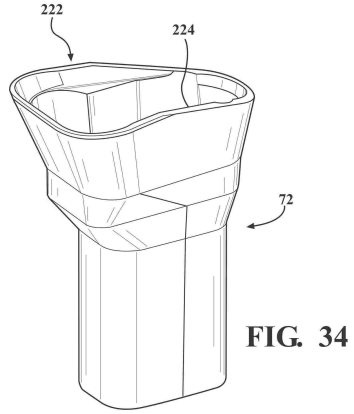
20

30

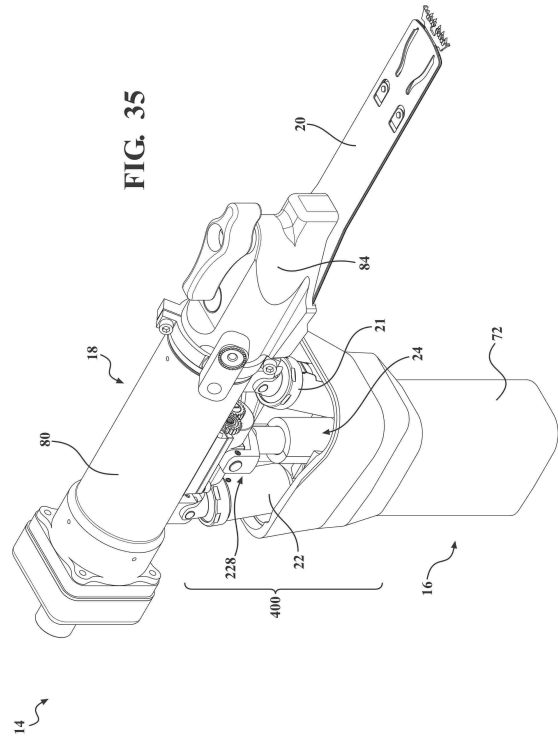
40

50

【図 3 4】



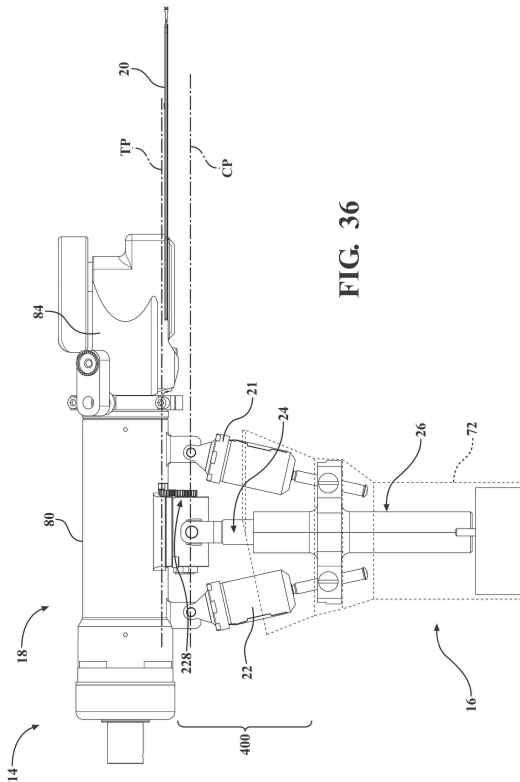
【図 3 5】



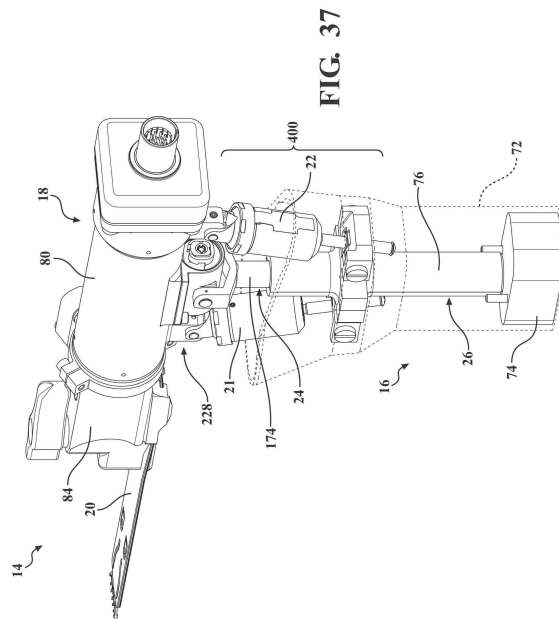
10

20

【図 3 6】



【図 3 7】



30

40

50

【図 3 8 A】

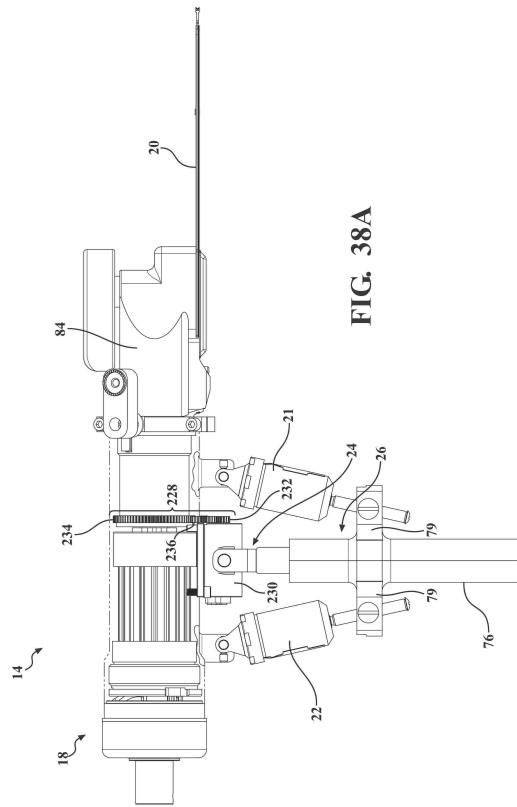


FIG. 38A

【図 3 8 B】

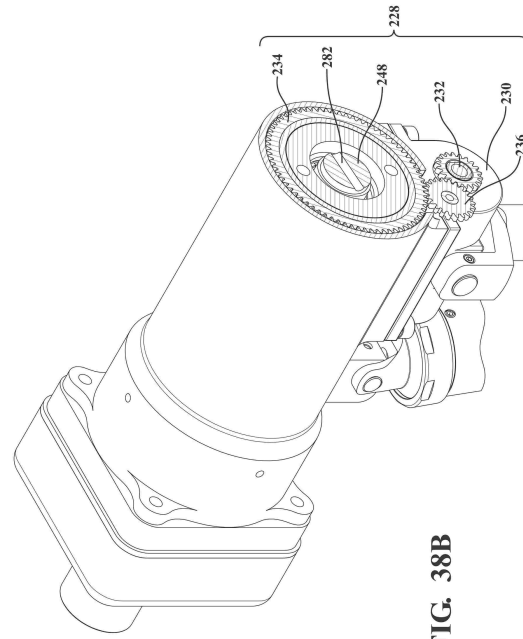


FIG. 38B

【図 3 8 C】

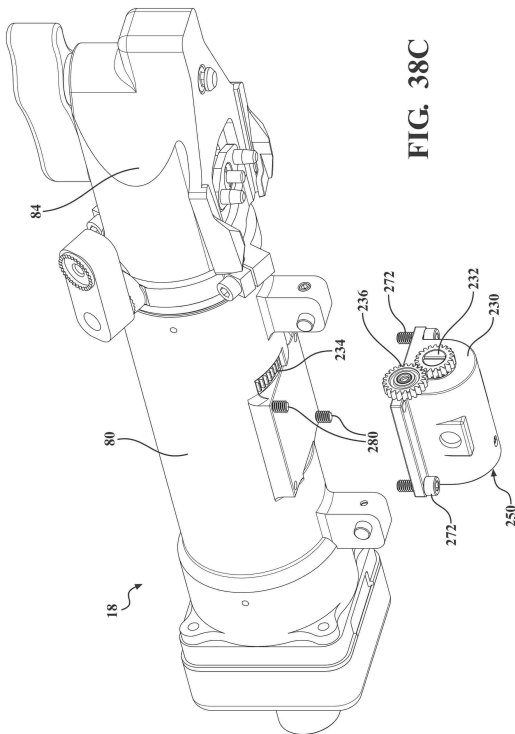


FIG. 38C

【図 3 9 A】

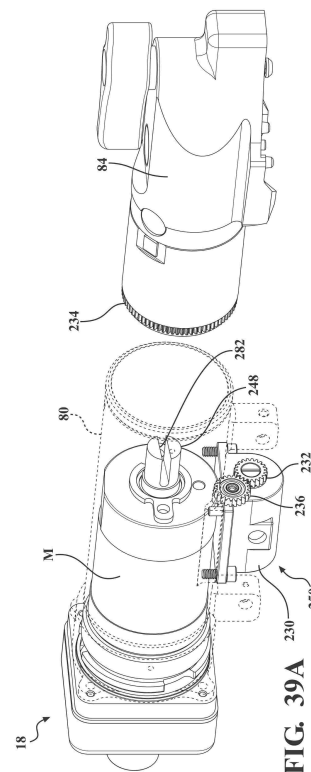


FIG. 39A

10

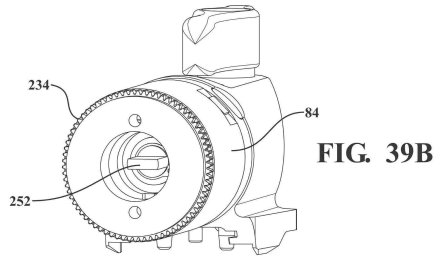
20

30

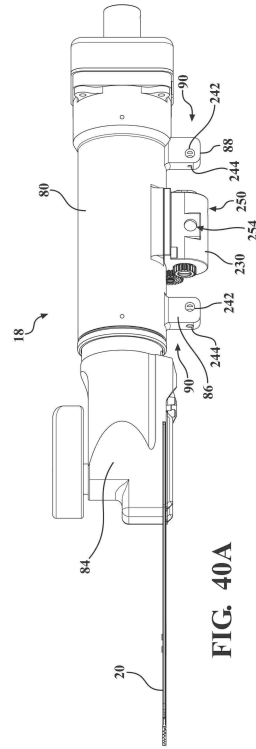
40

50

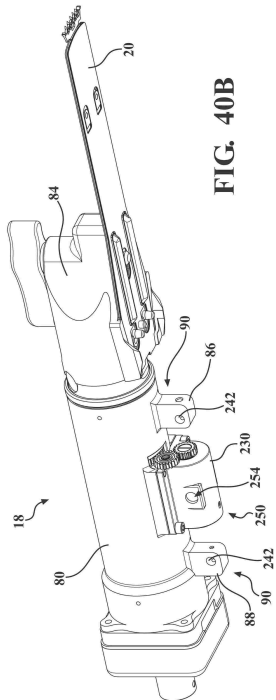
【図 3 9 B】



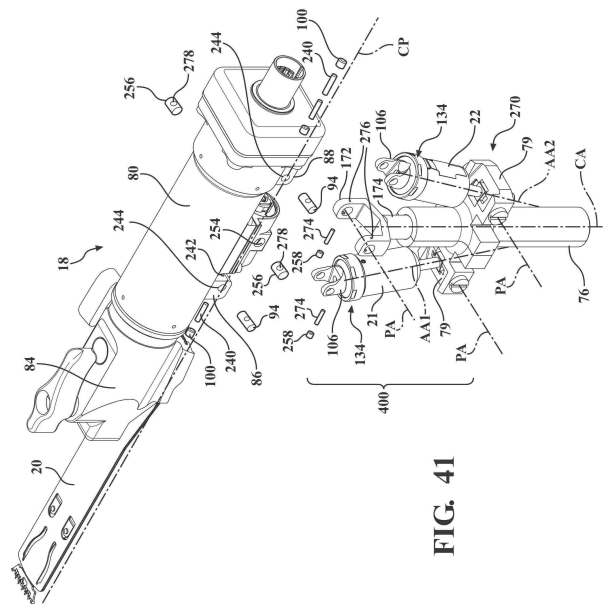
【図 4 0 A】



【図 4 0 B】



【図 4 1】



10

20

30

40

50

【図 4 2】

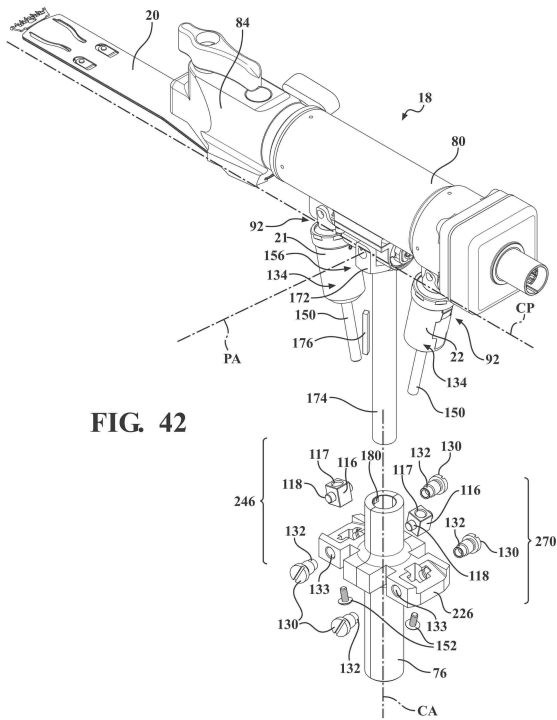


FIG. 42

【図 4 3】

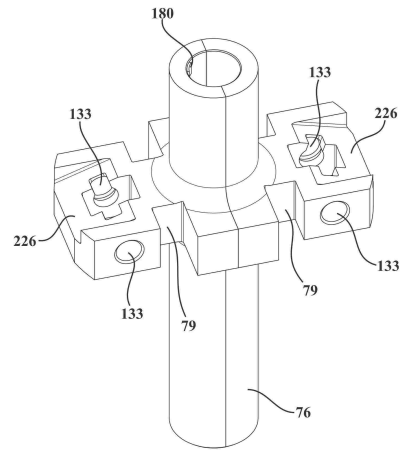


FIG. 43

【図 4 4】

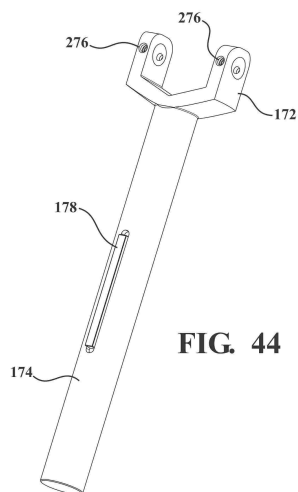


FIG. 44

【図 4 5 A】

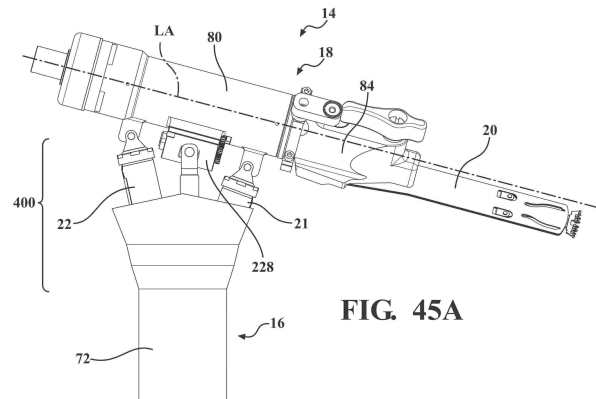


FIG. 45A

10

20

30

40

50

【図 4 5 B】

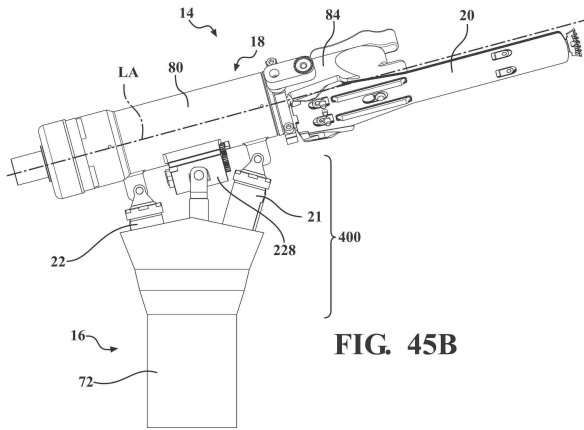


FIG. 45B

【図 4 6】

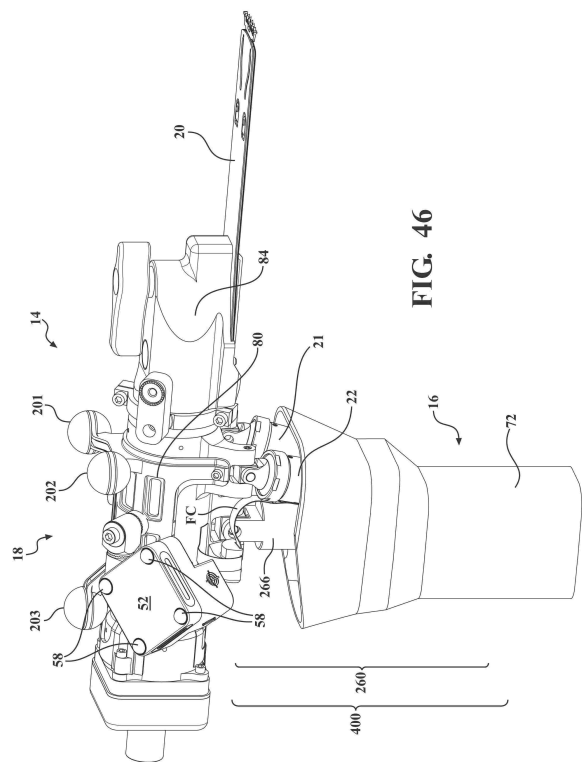


FIG. 46

【図 4 7】

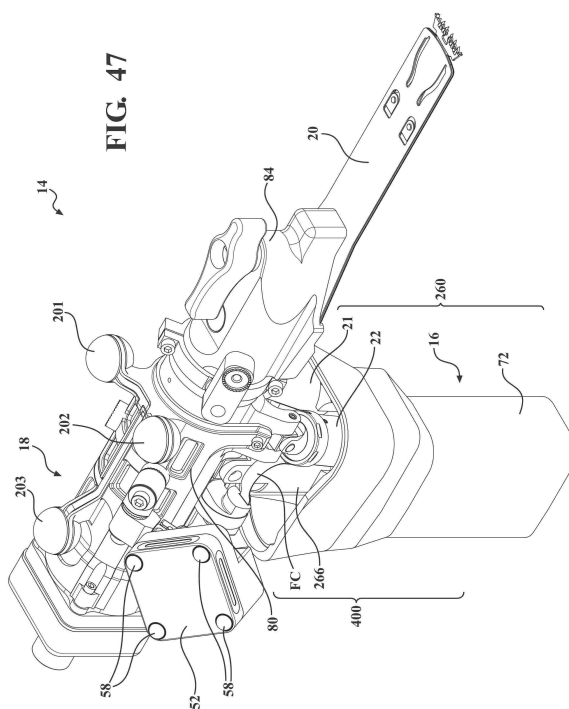


FIG. 47

【図 4 8】

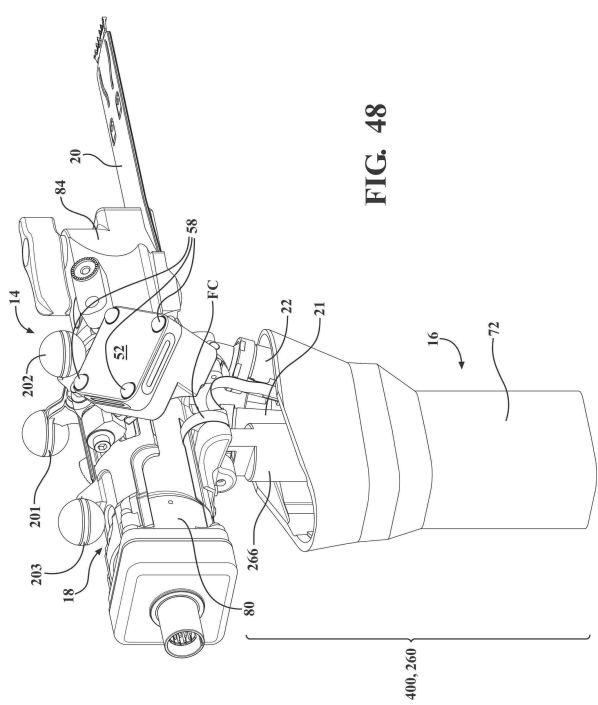


FIG. 48

10

20

30

40

50

【図 4 9】

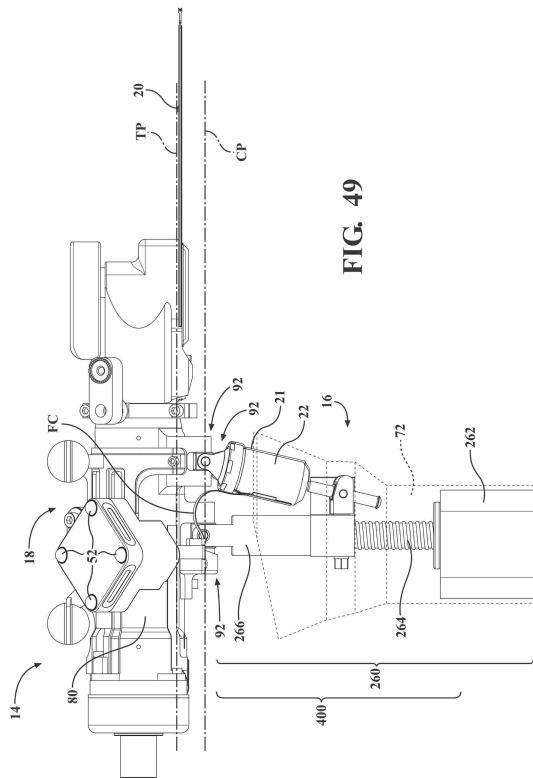


FIG. 49

【図 5 0】

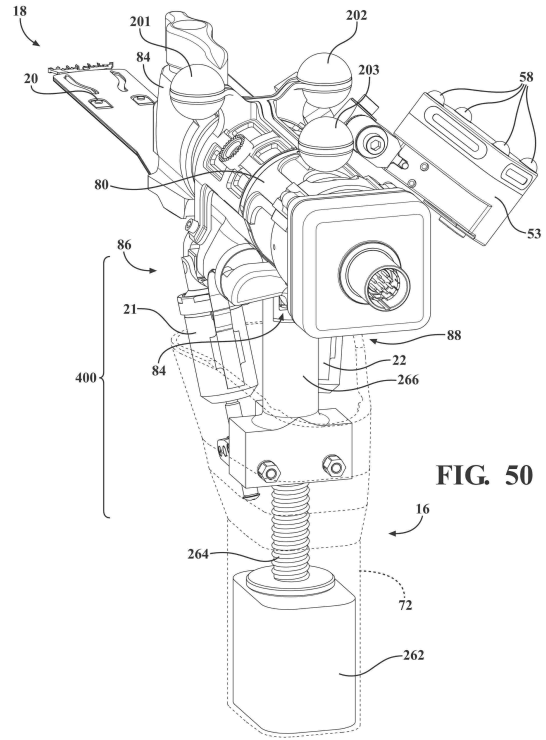


FIG. 50

【図 5 1 A】

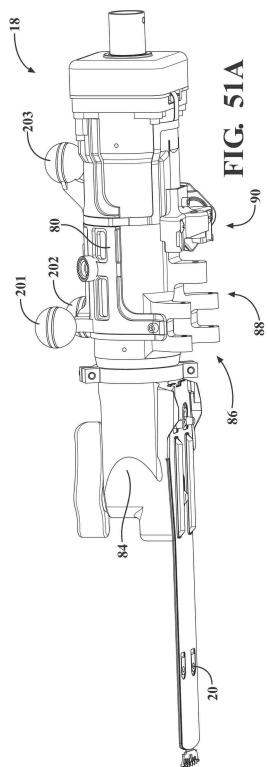


FIG. 51A

【図 5 1 B】

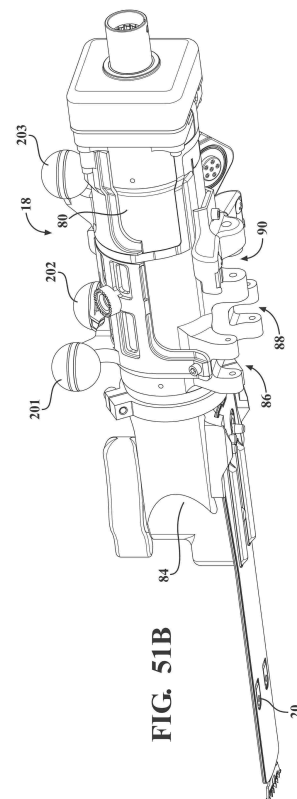


FIG. 51B

10

20

30

40

50

【図 5 2】

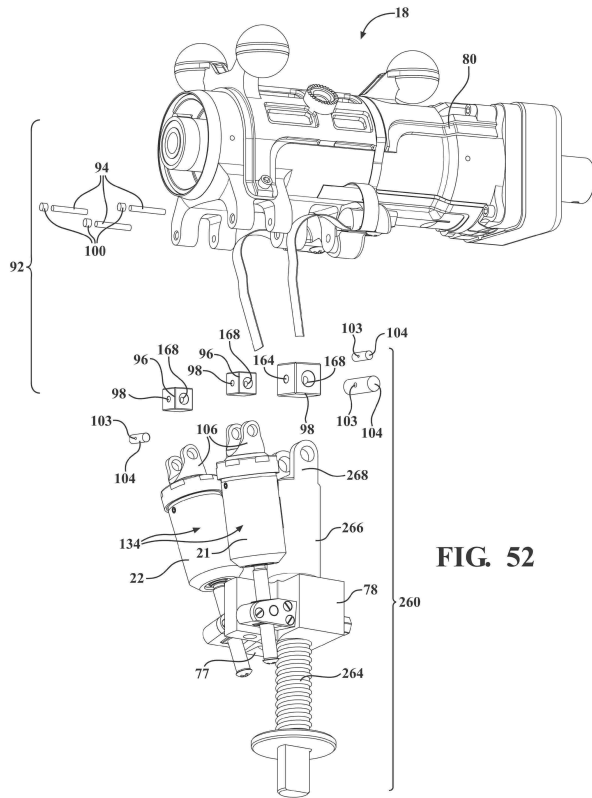


FIG. 52

【図 5 3 A】

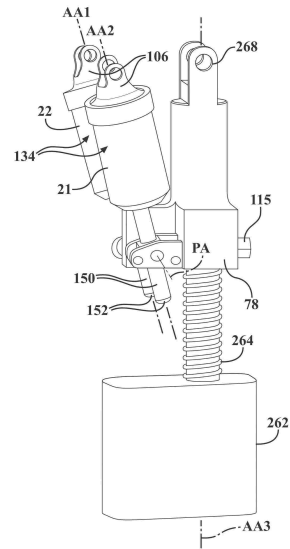


FIG. 53A

【図 5 3 B】

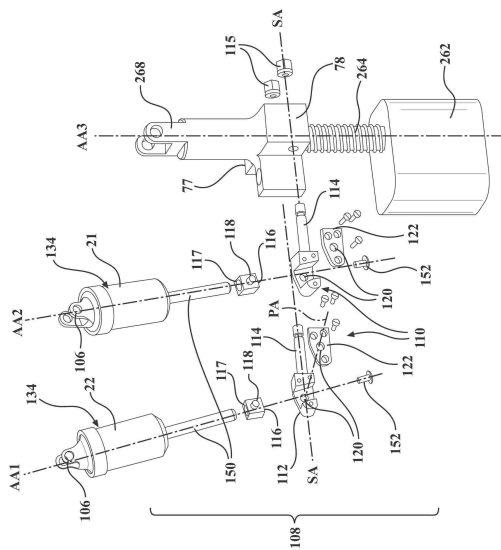


FIG. 53B

【図 5 4 A】

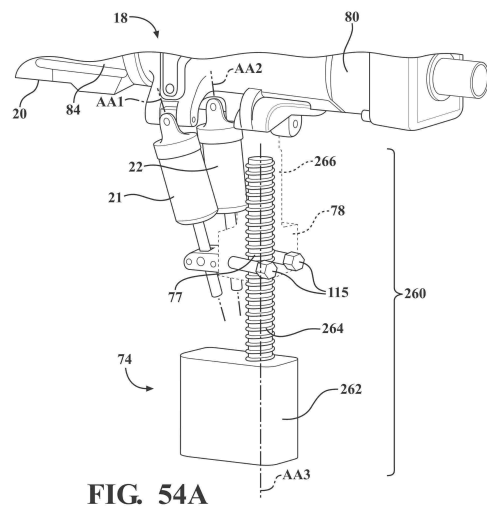


FIG. 54A

【図 5 4 B】

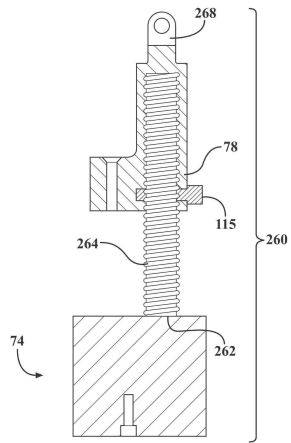


FIG. 54B

【図 5 5 A】

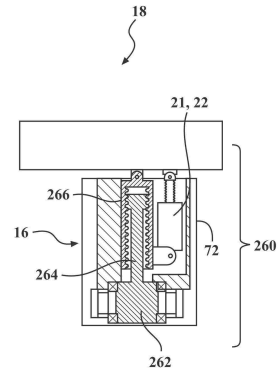


FIG. 55A

10

20

【図 5 5 B】

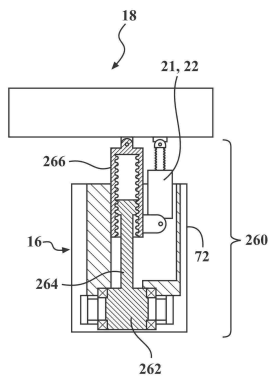


FIG. 55B

【図 5 5 C】

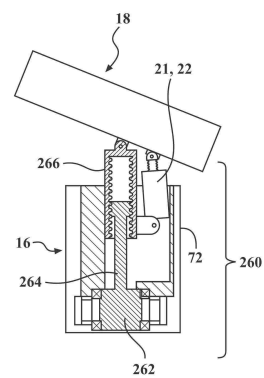


FIG. 55C

30

40

50

【図 5 6 A】

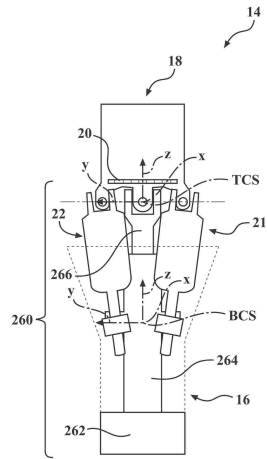


FIG. 56A

【図 5 6 B】

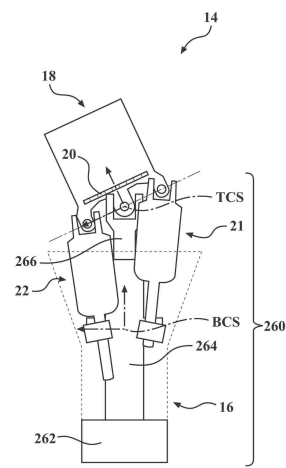


FIG. 56B

【図 5 6 C】

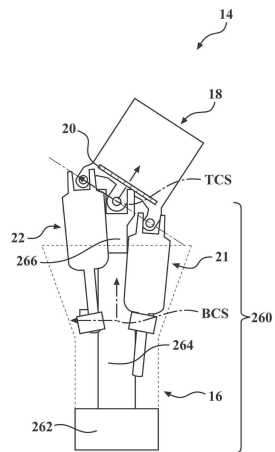


FIG. 56C

【図 5 7】

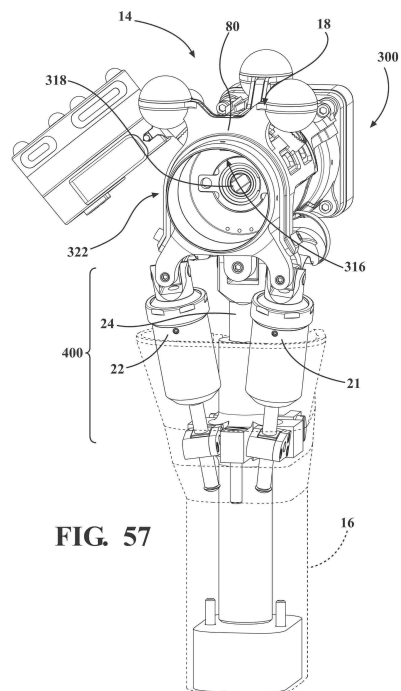


FIG. 57

10

20

30

40

50

【図 5 8 A】

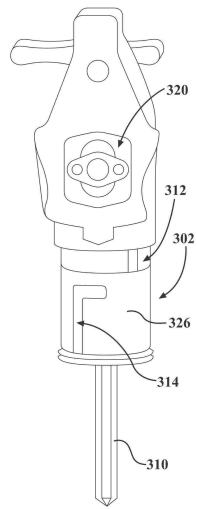


FIG. 58A

【図 5 8 B】

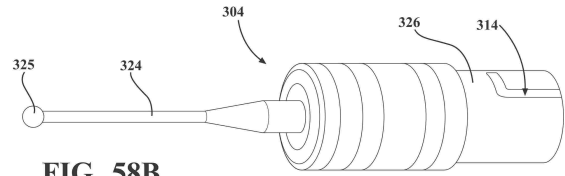


FIG. 58B

10

20

【図 5 8 C】

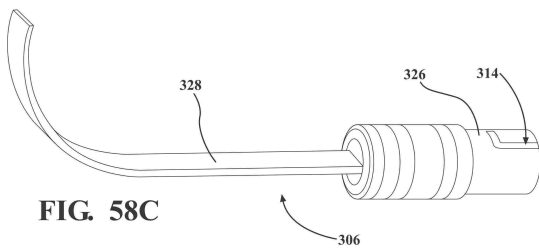


FIG. 58C

【図 5 8 D】

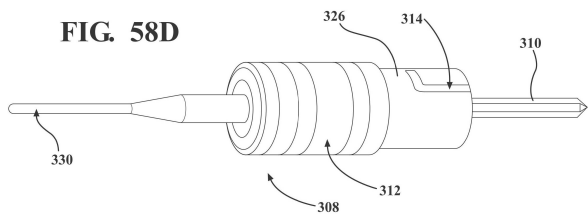


FIG. 58D

30

40

50

【図 5 9】

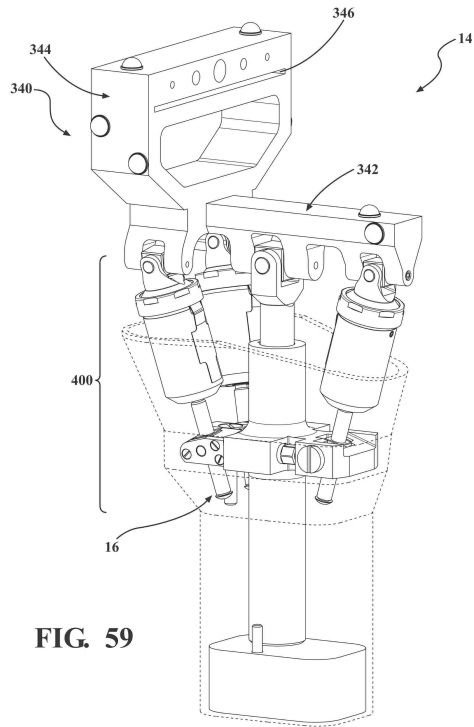


FIG. 59

【図 6 0】

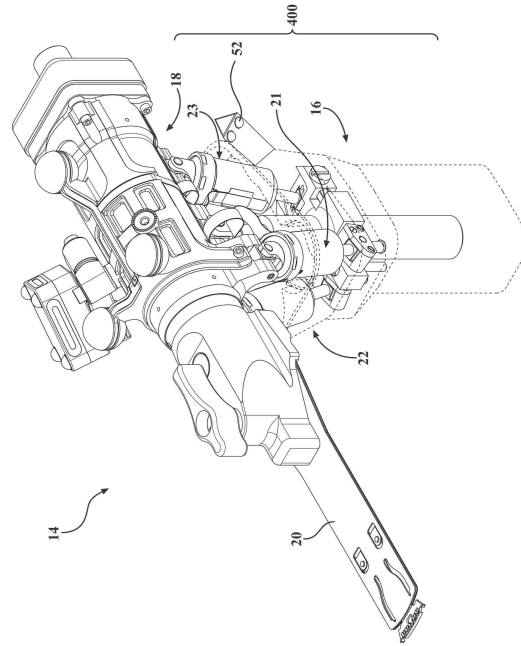


FIG. 60

【図 6 1 A】

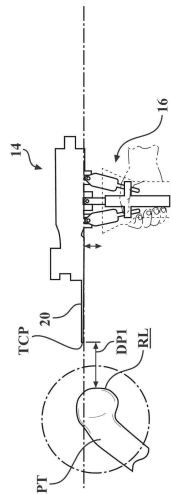


FIG. 61A

【図 6 1 B】

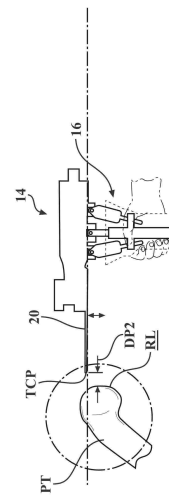


FIG. 61B

10

20

30

40

50

【図 67】

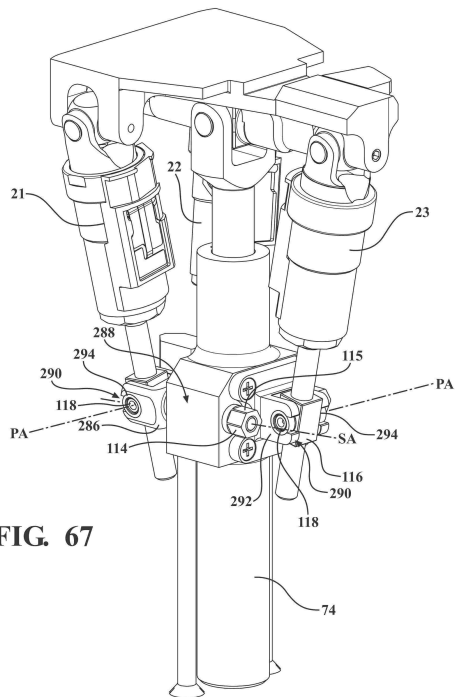


FIG. 67

【図 68】

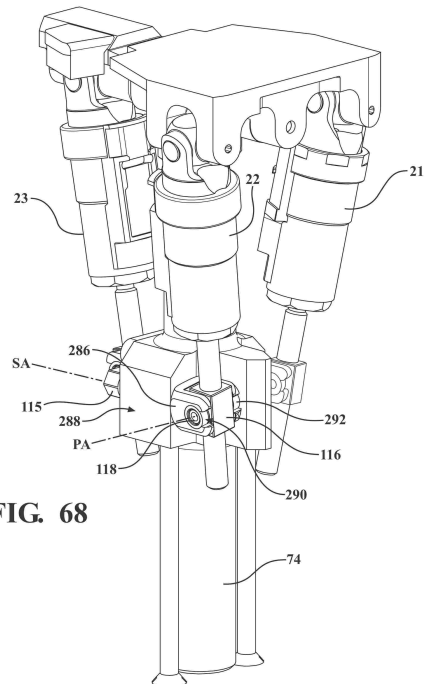


FIG. 68

【图 69】

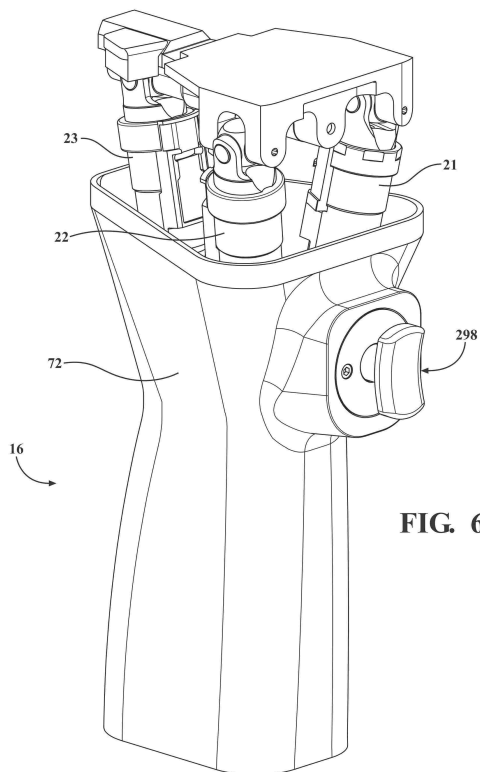


FIG. 69

【図 70】

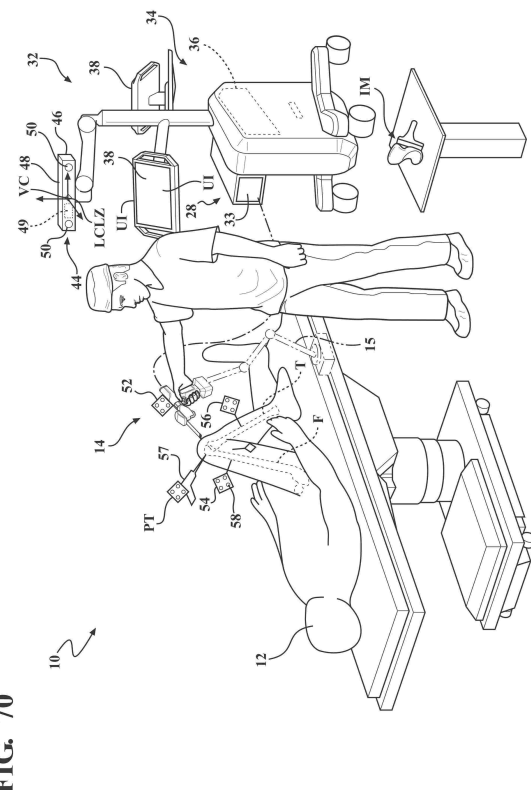


FIG. 70

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(74)代理人

有原 幸一

(72)発明者 ボズン, ティモシー・ジェイ.

アメリカ合衆国, ミシガン州, スコッツ, クローバーメドウズ・アベニュー 5934

(72)発明者 リーズナー, スティーブン・ジェイ.

アメリカ合衆国, ミシガン州, カラマズー, サンドル・クラブ・ドライブ 5240

(72)発明者 ティマー, ジェルリー

アメリカ合衆国, ミシガン州, カラマズー, ウエスト・アール・アベニュー 7107

審査官 神ノ田 奈央

(56)参考文献 特表2017-528255 (JP, A)

特開平09-029681 (JP, A)

特開平11-137755 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

A61B 17/14-17/17

A61B 34/00-34/30