

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号
特表2023-512760
(P2023-512760A)

(43)公表日 令和5年3月29日(2023.3.29)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 34/30 (2016.01)	A 6 1 B 34/30	4 C 1 6 0
A 6 1 B 17/15 (2006.01)	A 6 1 B 17/15	
A 6 1 B 34/20 (2016.01)	A 6 1 B 34/20	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全91頁)			
(21)出願番号	特願2022-547691(P2022-547691)	(71)出願人	507280594
(86)(22)出願日	令和3年1月20日(2021.1.20)		マコ サージカル コーポレーション
(85)翻訳文提出日	令和4年10月3日(2022.10.3)		アメリカ合衆国 フロリダ, ウェストン
(86)国際出願番号	PCT/US2021/014205		, エンタープライズ アベニュー 3 3 6 5
(87)国際公開番号	WO2021/158367	(74)代理人	100099623
(87)国際公開日	令和3年8月12日(2021.8.12)		弁理士 奥山 尚一
(31)優先権主張番号	62/970,074	(74)代理人	100125380
(32)優先日	令和2年2月4日(2020.2.4)		弁理士 中村 綾子
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(74)代理人	100142996
(31)優先権主張番号	63/059,517		弁理士 森本 聡二
(32)優先日	令和2年7月31日(2020.7.31)	(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
(81)指定国・地域	AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA	(74)代理人	100218604
	最終頁に続く		弁理士 池本 理絵
		(72)発明者	リンデマン, フィリップ
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 視覚インジケータを備える手持ち式ロボット手術器具システム及びそれを制御する方法

(57)【要約】

手術ツールと共に使用されるロボット器具を備えるシステムを提供する。このロボット器具は、ユーザが保持する手持ち部分と、手持ち部分に移動可能に結合されて手術ツールを支持するツール支持体を含む。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作動的に相互接続して、ツール支持体を手持ち部分に対して3自由度で動かす。任意選択的な制約アセンブリが、ツール支持体と手持ち部分とを作動的に相互接続して、手持ち部分に対するツール支持体の動きを3自由度で制約してもよい。視覚インジケータは、システムの有用性を最大限にするようにユーザが器具の手持ち部分を位置決めするのを支援する。

【選択図】 図2

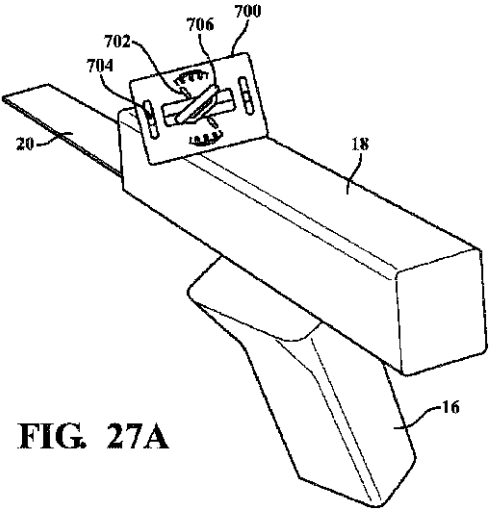


FIG. 27A

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ユーザが保持する手持ち部分及び該手持ち部分に結合されており、手術ツールの運動を駆動するツール駆動モータを備えるツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを作動的に相互接続して、前記手術ツールを前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かすように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を含むアクチュエータアセンブリとを備える器具と、

前記手持ち部分を配置すべき場所に前記ユーザを誘導する視覚インジケータと、

前記複数のアクチュエータ及び前記視覚インジケータに結合された制御システムであって、既知の座標系において第 1 の自由度における前記手持ち部分の位置、向き又はそれらの組合せを決定し、前記第 1 の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きに基づき、第 2 の自由度における前記ツール支持体の可動域を決定し、前記既知の座標系において前記第 2 の自由度における前記手持ち部分の位置又は向きを決定し、前記第 2 の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きと前記可動域とに基づき前記視覚インジケータを制御するように構成されている制御システムと

を備えてなる手術ツールと共に使用される手持ち式ロボットシステム。

【請求項 2】

前記制御システムは、前記第 1 の自由度での前記手持ち部分の前記位置又は向きに基づき、第 3 の自由度における前記ツール支持体の可動域を決定し、前記既知の座標系において前記第 3 の自由度における前記手持ち部分の位置又は向きを決定し、前記第 2 の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きと前記可動域とに基づくとともに、前記第 3 の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きと前記可動域とに基づき、前記視覚インジケータを制御するように更に構成されている、請求項 1 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 3】

前記制御システムは、前記第 1 の自由度における前記手持ち部分の前記位置に基づくとともに、前記手持ち部分に対する前記ツール支持体の 3 次元作業空間を表すデカルトモデルに基づき、前記第 2 の自由度における前記ツール支持体の前記可動域を決定するように更に構成されている、請求項 2 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 4】

前記モデルは、複数のロール値、ピッチ値及び高さ値によって定義される、請求項 3 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 5】

前記ツール支持体の前記 3 次元作業空間を表す前記モデルは、経験的データから導出される、請求項 3 又は 4 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 6】

前記制御システムは、前記既知の座標系において前記手持ち部分の姿勢を決定するように構成され、前記制御システムは、前記手持ち部分の前記姿勢に基づいて、前記第 1 の自由度における前記手持ち部分の前記位置と、前記第 2 の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きとを計算するように構成されている、請求項 1 ～ 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 7】

前記手持ち部分の前記姿勢は、指令姿勢、シミュレートされた指令姿勢、測定姿勢、以前の指令姿勢、以前の測定姿勢又はそれらの組合せである、請求項 6 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 8】

前記手持ち部分の前記姿勢は指令姿勢であり、前記手術ツールは鋸刃であり、前記ツール支持体は刃支持体として定義され、前記鋸刃は前記刃支持体に結合され、前記手持ち部分の前記指令姿勢は、前記鋸刃と前記手持ち部分との関係である、請求項 7 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 9】

前記制御システムは、前記第 2 の自由度における前記手持ち部分の前記向きと、前記第 3 の自由度における前記手持ち部分の前記向きとに基づき、極座標系において実際の偏差ベクトルを決定するように更に構成され、前記実際の偏差ベクトルは大きさ及び方向を有し、前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさ、前記実際の偏差ベクトルの前記方向又はそれらの組合せに基づいて、前記視覚インジケータを制御するように構成されている、請求項 3～5 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 10】

前記デカルトモデルは複数の 2 次元領域を含み、該複数の 2 次元領域の各領域はそれ自体の原点を包囲し、前記実際の偏差ベクトルは、前記複数の 2 次元領域のうちの少なくとも 1 つの前記原点から、前記第 2 の自由度における前記手持ち部分の前記向きと前記第 3 の自由度における前記手持ち部分の前記向きとにより極座標系において定義された点まで延びる、請求項 9 に記載の手持ち式ロボットシステム。

10

【請求項 11】

前記複数の 2 次元領域の各領域は、複数のロール値及び複数のピッチ値によって定義される、請求項 10 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 12】

前記制御システムは、前記第 1 の自由度における前記手持ち部分の前記位置に基づき、前記極座標系において可動域ベクトルを決定するように更に構成され、前記可動域ベクトルは大きさを有し、前記可動域ベクトルは、前記複数の 2 次元領域のうちの少なくとも 1 つの前記原点から前記 2 次元領域の境界点まで延び、前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさ、前記可動域ベクトルの前記大きさ、前記実際の偏差ベクトルの前記方向又はそれらの組合せに基づき、前記視覚インジケータを制御するように構成されている、請求項 11 に記載の手持ち式ロボットシステム。

20

【請求項 13】

前記実際の偏差ベクトルの前記方向と前記可動域ベクトルの前記方向とは、互いに等しく、前記実際の偏差ベクトルの前記原点は、前記可動域ベクトルの前記原点と同じである、請求項 12 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 14】

前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさと前記可動域ベクトルの前記大きさとに基づき、前記視覚インジケータを制御するように構成されている、請求項 12 に記載の手持ち式ロボットシステム。

30

【請求項 15】

前記第 1 の自由度は高さであり、前記制御システムは、前記第 1 の自由度における前記手持ち部分の前記位置に基づき、前記 2 次元領域の境界点を決定するように構成されている、請求項 12 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 16】

前記制御システムは、前記 2 次元領域の前記境界点を画定する一対の座標に基づき、前記可動域ベクトルの前記大きさを決定するように構成されている、請求項 15 に記載の手持ち式ロボットシステム。

40

【請求項 17】

前記 2 次元領域は複数の線によって画定される、請求項 14 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 18】

前記 2 次元領域は前記原点について非対称である、請求項 16 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 19】

前記原点は、前記 2 次元領域の質量中心以外の点である、請求項 17 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 20】

50

前記複数の２次元領域のうちの少なくとも２つは、互いに対して異なる形状、サイズ又はそれらの組合せを有する、請求項１８に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項２１】

前記複数の２次元領域のうちの前記少なくとも２つのうちの１つは、第１の高さでのピッチ及びロールにおける第１の可動域に対応し、前記複数の２次元領域のうちの前記少なくとも２つのうちの少なくとも１つは、第２の高さでのピッチ及びロールにおける第２の可動域に対応する、請求項２０に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項２２】

前記視覚インジケータは複数の光源を備え、前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさ、前記実際の偏差ベクトルの前記方向又はそれらの組合せに基づき、前記複数の光源のうちの少なくとも１つの状態を制御して、ピッチの向き、ロールの向き及び並進位置のうちの１つ以上における１つ以上の所望の変化をユーザに示すように構成されている、請求項１２に記載の手持ち式ロボットシステム。

10

【請求項２３】

前記複数の光源のうちの少なくとも３つの光源は、互いに共通の平面にある、請求項２２に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項２４】

前記複数の光源のうちの少なくとも３つは、中心軸を包囲するアレイに配置され、前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさに基づき、前記アレイを画定する前記光源を制御するように構成されている、請求項２３に記載の手持ち式ロボットシステム。

20

【請求項２５】

前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさと偏差閾値とに基づき、前記アレイを制御するように更に構成されている、請求項２４に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項２６】

前記偏差閾値は、前記手持ち部分の前記姿勢に基づく前記極座標系における可動域ベクトルの大きさに基づき、前記可動域ベクトルは、前記複数の２次元領域のうちの少なくとも１つの前記原点から前記少なくとも１つの２次元領域の境界点まで延びる、請求項２５に記載の手持ち式ロボットシステム。

30

【請求項２７】

前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記方向に基づき前記アレイにおけるルート光源を特定し、前記ルート光源に第１の側及び第２の側で隣接している少なくとも２つの隣接光源を特定するように構成され、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさに基づき、前記少なくとも２つの隣接光源の状態を制御するように構成されている、請求項２４に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項２８】

前記視覚インジケータは、前記アレイとは別個の並進インジケータを含み、前記並進インジケータは並進光源を備え、前記制御システムは、前記第１の自由度における前記手持ち部分の前記位置と並進閾値とに基づき、該並進光源の状態を制御するように構成されている、請求項２６に記載の手持ち式ロボットシステム。

40

【請求項２９】

前記並進視覚インジケータは第１のセグメント及び第２のセグメントを含み、前記第１のセグメントは第１の並進光源を含み、前記第２のセグメントは第２の並進光源を含み、前記制御システムは、前記第１の並進光源及び前記第２の並進光源の状態を制御して、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ている、請求項２８に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項３０】

前記第１のセグメント及び前記第２のセグメントは、前記並進視覚インジケータの中線の両側にあり、前記制御システムは、前記手持ち部分の所望の動きの方向を示すように前

50

記第 1 のセグメント及び前記第 2 のセグメントのうちの少なくとも一方を照明するように構成されている、請求項 29 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 31】

前記第 1 のセグメント及び前記第 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、前記ツール支持体によって画定される平面に垂直である、請求項 30 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 32】

前記並進光源は複数の並進光源を含み、前記制御システムは、前記第 1 の自由度における前記手持ち部分の前記位置と前記並進閾値とに基づき、前記複数の並進光源からルート並進光源を特定し、前記ルート並進光源に第 1 の側及び第 2 の側で隣接している少なくとも 2 つの隣接光源を特定するように構成され、前記第 1 の自由度における前記手持ち部分の前記位置と前記並進閾値とに基づき、前記少なくとも 2 つの隣接光源の状態を制御するように構成されている、請求項 28 に記載の手持ち式ロボットシステム。

10

【請求項 33】

前記並進光源の前記状態は、前記複数の並進光源がオンであるかオフであるか、前記光源によって放出される光パルスの周波数、前記光源によって放出される前記光の強度、前記光源の色、又はそれらの組合せである、請求項 32 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 34】

前記並進閾値は並進閾値の範囲を含む、請求項 28 に記載の手持ち式ロボットシステム。

20

【請求項 35】

前記並進閾値の範囲は、前記手持ち部分の 3 次元作業空間を表すデカルトモデルに基づく、請求項 34 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 36】

前記手持ち部分の前記 3 次元作業空間を表す前記デカルトモデルは、経験的データから導出される、請求項 35 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 37】

前記視覚インジケータは表示画面を含み、前記制御システムは、前記手持ち部分の指令姿勢のロール成分に基づきロール指標を表示するように前記表示画面を制御するように構成されている、請求項 9 に記載の手持ち式ロボットシステム。

30

【請求項 38】

前記表示画面は、ロール基準オブジェクトを表示するように構成され、前記ロール指標は、前記手持ち部分の前記指令姿勢の前記ロール成分とロール可動域とに基づき、前記ロール基準オブジェクトに対して位置決めされる、請求項 37 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 39】

前記制御システムは、前記手持ち部分の前記指令姿勢のロール以外の成分に基づき、前記ロール可動域を決定するように構成されている、請求項 38 に記載の手持ち式ロボットシステム。

40

【請求項 40】

前記視覚インジケータは表示画面を含み、前記制御システムは、並進指標を表示するように前記表示画面を制御するように更に構成され、前記制御システムは、前記第 1 の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きに基づき、前記並進指標を制御するように構成されている、請求項 9 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 41】

前記表示画面は、並進範囲を示す並進基準オブジェクトを含み、前記並進指標は、前記第 1 の自由度における前記手持ち部分の前記位置と並進可動域とに基づき、前記並進基準オブジェクト内に位置決めされる、請求項 40 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 42】

50

前記第 1 の自由度は高さである、請求項 4 1 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 4 3】

前記並進可動域は、前記手持ち部分の 3 次元作業空間を表すデカルトモデルに基づく、請求項 4 2 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 4 4】

前記表示画面は、2 つ以上の並進基準オブジェクトを表示するように構成され、少なくとも 1 つの並進基準オブジェクトは前記表示画面の各側に位置する、請求項 4 1 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 4 5】

前記視覚インジケータは表示画面を含み、前記制御システムは、前記手持ち部分の指令姿勢のピッチ成分と、前記指令姿勢のロール成分と、ピッチ可動域と、ロール可動域とに基づき、ピッチロール指標を表示するように、前記表示画面を制御するように構成されている、請求項 1 2 に記載の手持ち式ロボットシステム。

10

【請求項 4 6】

前記ピッチロール指標は、3 次元仮想オブジェクトの 2 次元表現であり、該 2 次元表現は、前記指令姿勢の前記ピッチ成分と前記ピッチ可動域とに基づき垂直方向に位置決めされ、前記 2 次元表現は、前記指令姿勢の前記ロール成分と前記ロール可動域とに基づき回転方向に位置決めされる、請求項 4 5 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 4 7】

前記制御システムは、前記指令姿勢の前記ロール成分に基づき前記ピッチ可動域を決定し、前記指令姿勢の前記ピッチ成分に基づき前記ロール可動域を決定するように構成されている、請求項 4 6 に記載の手持ち式ロボットシステム。

20

【請求項 4 8】

前記 3 次元仮想オブジェクトは多角形であり、該多角形は正面及び背面を有し、前記多角形の前記背面は前記多角形の前記正面の反対側に位置決めされ、前記多角形の前記正面及び前記背面のうちの一方は、前記実際の偏差ベクトルの大きさ、方向又はそれらの組合せに基づいて位置決めされる、請求項 4 6 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 4 9】

前記視覚インジケータは、前記ツール支持体、前記手持ち部分又はそれらの組合せに結合されている、請求項 1 ～ 4 8 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 5 0】

前記視覚インジケータは、前記器具とは別個の表示画面である、請求項 1 ～ 4 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 5 1】

前記表示画面はナビゲーションカートに結合されている、請求項 5 0 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 5 2】

ユーザが保持する手持ち部分及び該手持ち部分に結合されており、手術ツールの運動を駆動するツール駆動モータを備えるツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを作動的に相互接続して、前記手術ツールを前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かすように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を含むアクチュエータアセンブリとを備える器具と、

40

前記手持ち部分を配置すべき場所に前記ユーザを誘導する視覚インジケータと、

前記複数のアクチュエータ及び前記視覚インジケータに結合された制御システムであって、既知の座標系において前記手持ち部分の第 1 の姿勢を決定し、前記第 1 の姿勢の成分に基づき第 1 の自由度における第 1 の可動域を決定し、前記既知の座標系において前記手持ち部分の第 2 の姿勢を決定し、前記第 2 の姿勢の成分に基づき前記第 1 の自由度における第 2 の可動域を決定し、前記第 1 の可動域と前記第 2 の可動域とは異なり、前記第 1 の姿勢と前記第 2 の姿勢とは異なり、前記第 1 の自由度における前記第 1 の姿勢に基づき前記手持ち部分の第 1 の位置又は向きを決定し、前記第 1 の位置又は向きと前記第 1 の可動

50

域とに基づき前記視覚インジケータを制御し、前記第 1 の自由度における前記第 2 の姿勢に基づき前記手持ち部分の第 2 の位置又は向きを決定し、該第 2 の位置又は向きと前記第 2 の可動域とに基づき前記視覚インジケータを制御するように構成されている制御システムと

を備えてなる手術ツールと共に使用される手持ち式ロボットシステム。

【請求項 5 3】

前記制御システムは、

前記第 1 の姿勢の成分に基づき第 2 の自由度における第 3 の可動域を決定し、

前記第 2 の姿勢の成分に基づき前記第 2 の自由度における第 4 の可動域を決定し、

前記第 2 の自由度における前記第 1 の姿勢に基づき前記手持ち部分の第 3 の位置又は向きを決定し、前記第 3 の位置又は向きと前記第 3 の可動域とに基づき前記視覚インジケータを制御し、

前記第 2 の自由度における前記第 2 の姿勢に基づき前記手持ち部分の第 4 の位置又は向きを決定し、前記第 4 の位置又は向きと前記第 4 の可動域とに基づき前記視覚インジケータを制御する

ように更に構成されている、請求項 5 2 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 5 4】

前記制御システムは、前記手持ち部分に対する前記ツール支持体の 3 次元作業空間を表すデカルトモデルに基づき前記第 1 の可動域を決定するように更に構成されている、請求項 5 3 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 5 5】

前記モデルは、複数のロール値、ピッチ値及び高さ値によって定義される、請求項 5 4 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 5 6】

前記デカルトモデルは、経験的データから導出される、請求項 5 4 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 5 7】

前記手持ち部分の前記姿勢は、指令姿勢、シミュレートされた指令姿勢、測定姿勢、以前の指令姿勢、以前の測定姿勢又はそれらの組合せである、請求項 5 6 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 5 8】

前記手持ち部分の前記姿勢は指令姿勢であり、前記手術ツールは鋸刃であり、前記ツール支持体は刃支持体として定義され、前記鋸刃は前記刃支持体に結合され、前記手持ち部分の前記指令姿勢は、前記鋸刃と前記手持ち部分との関係である、請求項 5 7 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 5 9】

前記制御システムは、前記第 1 の自由度における前記手持ち部分の前記第 1 の位置又は向き及び前記第 2 の位置又は向きと、前記第 2 の自由度における前記手持ち部分の前記第 3 の位置又は向き及び前記第 4 の位置又は向きとに基づき、極座標系において実際の偏差ベクトルを決定するように更に構成され、前記実際の偏差ベクトルは大きさ及び方向を有し、前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさ、前記実際の偏差ベクトルの前記方向、又はそれらの組合せに基づき前記視覚インジケータを制御するように構成されている、請求項 5 7 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 6 0】

前記制御システムは、前記第 1 の自由度における前記可動域に基づき、前記極座標系において可動域ベクトルを決定するように更に構成され、前記可動域ベクトルは大きさを有し、前記可動域ベクトルは、前記デカルトモデルの複数の 2 次元領域のうちの少なくとも 1 つの原点から前記 2 次元領域の境界点まで延び、前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさ、前記可動域ベクトルの前記大きさ、前記実際の偏差ベクトルの前記方向又はそれらの組合せに基づき、前記視覚インジケータを制御するように構成されて

10

20

30

40

50

いる、請求項 59 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 61】

前記実際の偏差ベクトルの前記方向と前記可動域ベクトルの前記方向とは、互いに等しく、前記実際の偏差ベクトルの前記原点は、前記可動域ベクトルの前記原点と同じである、請求項 60 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 62】

前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさと前記可動域ベクトルの前記大きさに基づき、前記視覚インジケータを制御するように構成されている、請求項 61 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、包括的には、手術用手持ち式ロボット器具システム及び使用方法に関する。

【背景技術】

【0002】

患者から組織を切除するとき、手術ツールを拘束するために物理的切断ガイドが使用される。いくつかの場合では、物理的切断ガイドは、置換インプラントを受け入れるように関節を準備する目的で、こうした手術ツールを拘束する。物理的切断ガイドを患者に対して位置決めして固定するのに要する時間は、外科処置を行うのに必要な時間全体のかなりの部分を占める可能性がある。

【0003】

(追跡システム (tracking system) とも称する) ナビゲーションシステム (navigation system) を使用して、治具を適切に位置合せして固定するとともに、患者から組織を切除するために使用される手術ツールの位置及び／又は向き (位置又は向きあるいはそれらの両方) を追跡することができる。追跡システムは、通常、ツール及び切除されている組織と関連する 1 つ以上のトラッカを採用する。そして、ユーザが、ディスプレイを見て、除去すべき組織の所望の切断経路に対するツールの現時点の位置を決定することができる。ディスプレイは、ツールの進行を視覚化するために、ユーザが組織及び手術部位から目をそらさなければならなくなるような様式で、配置されている可能性がある。これにより、ユーザが、手術部位に集中することから注意がそらされる可能性がある。また、ユーザが所望の様式でツールを配置することが困難である可能性がある。

【0004】

ロボット支援手術は、通常、6 自由度 (DOF: degrees of freedom) で動く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する。これらの大型のロボットは、手術室で操作及び操縦するには扱いにくい可能性がある。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

これらの難しい課題のうちの 1 つ以上に対処するシステム及び方法が必要とされている。

【課題を解決するための手段】

【0006】

1 つの全体的な態様は、手術ツールと共に使用される手持ち式ロボットシステム (hand-held robotic system) を含む。手持ち式ロボットシステムはまた、ユーザが保持する手持ち部分と、手持ち部分に結合されたツール支持体とを含む器具とを含む。ツール支持体は、手術ツールの運動を駆動するツール駆動モータを含んでもよい。器具は、ツール支持体と手持ち部分とを作動的に相互接続して、手術ツールを手持ち部分に対して複数の自由度で動かすようにツール支持体を動かすためのアクチュエータアセンブリを含んでもよい。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。本システムはまた、手持ち部分を配置すべき場所にユーザを誘導する視覚インジケータを含んでもよい。複数

10

20

30

40

50

のアクチュエータ及び視覚インジケータに制御システムを結合してもよく、制御システムは、既知の座標系において第1の自由度における手持ち部分の位置及び／又は向きを決定するように構成されている。制御システムはまた、第1の自由度における手持ち部分の位置及び／又は向きに基づき、第2の自由度におけるツール支持体の可動域を決定してもよい。制御システムはまた、既知の座標系において第2の自由度における手持ち部分の位置及び／又は向きを決定してもよい。制御システムはまた、第2の自由度における手持ち部分の位置及び／又は向きと可動域とに基づき、視覚インジケータを制御してもよい。

【0007】

別の全体的な態様は、手術ツールと共に使用される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、ユーザが保持する手持ち部分と手持ち部分に結合されたツール支持体とを含む、器具も含む。ツール支持体は、手術ツールの運動を駆動するツール駆動モータを含んでもよい。器具はまた、ツール支持体と手持ち部分とを作動的に相互接続して、ツールを手持ち部分に対して複数の自由度で動かすようにツール支持体を動かす、アクチュエータアセンブリを含んでもよく、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。手持ち式ロボットシステムはまた、手持ち部分を配置すべき場所にユーザを誘導する視覚インジケータを含んでもよい。本システムは、複数のアクチュエータ及び視覚インジケータに結合された制御システムを更に含んでもよい。制御システムは、既知の座標系において手持ち部分の第1の姿勢を決定するように構成してもよい。制御システムはまた、第1の姿勢に基づき第1の自由度における第1の可動域を決定し、既知の座標系において手持ち部分の第2の姿勢を決定するように構成してもよい。制御システムはまた、第2の姿勢に基づき第1の自由度における第2の可動域を決定してもよく、第1の可動域と第2の可動域とは異なり、第1の姿勢と第2の姿勢とは異なる。制御システムはまた、第1の自由度における第1の姿勢に基づき手持ち部分の第1の位置及び／又は向きを決定し、第1の位置及び／又は向きと第1の可動域とに基づき視覚インジケータを制御し、第1の自由度における第2の姿勢に基づき手持ち部分の第2の位置及び／又は向きを決定し、第2の位置及び／又は向きと第2の可動域とに基づき視覚インジケータを制御してもよい。

【0008】

別の全体的な態様は、鋸刃と共に使用される手持ち式ロボットシステムの視覚インジケータを制御する方法である。ロボットシステムは、ユーザが保持する手持ち部分と、手持ち部分に移動可能に結合されて鋸刃を支持する刃支持体とを有する、手持ち式器具を含んでもよい。手持ち式器具は、刃支持体と手持ち部分とを作動的に相互接続するアクチュエータアセンブリを含んでもよい。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んでもよい。刃支持体は、鋸駆動モータを含んでもよい。本方法は、既知の座標系において第1の自由度における手持ち部分の位置及び／又は向きを決定するステップと、既知の座標系において第1の自由度における手持ち部分の位置及び／又は向きに基づき第2の自由度における刃支持体の可動域を決定するステップとを含んでもよい。本方法はまた、既知の座標系において第2の自由度における手持ち部分の位置及び／又は向きを決定することを含んでもよい。本方法は、第2の自由度における手持ち部分の位置及び／又は向きと可動域とに基づき視覚インジケータを制御することを含んでもよい。

【0009】

別の全体的な態様は、ツールと共に使用される手持ち式ロボットシステムである。本システムは、ユーザが保持する手持ち部分と手持ち部分に結合されたツール支持体とを特徴とする器具を含んでもよい。ツール支持体は、ツールの運動を駆動するツール駆動モータを含んでもよい。器具は、ツール支持体と手持ち部分とを作動的に相互接続して、ツールを手持ち部分に対して複数の自由度で動かしてツールを位置合せするようにツール支持体を動かすアクチュエータアセンブリを含んでもよい。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。本システムは、手持ち部分を配置すべき場所にユーザを誘導する視覚インジケータを含んでもよい。本システムは、複数のアクチュエータに結合された制御システムを含んでもよい。制御システムは、既知の座標系において第1の自由度及び

第2の自由度における手持ち部分の位置及び／又は向きを決定するように構成してもよい。制御システムは、第1の自由度及び第2の自由度における手持ち部分の位置及び／又は向きと、第1の自由度及び第2の自由度における手持ち部分に対するツール支持体の可動域とに基づき、視覚インジケータを制御するように構成してもよい。方法も同様に企図される。

【0010】

本開示の利点は、添付図面とともに考慮したときに、以下の詳細な説明を参照することで本開示がより良く理解されるにつれて、容易に理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0011】

10

【図1】ロボットシステムの斜視図である。

【図2】全膝関節インプラントを受けるために大腿骨の5つの面を切断するように使用されているロボット器具の斜視図である。

【図3A】ロボット器具の様々なピッチの向きの図である。

【図3B】ロボット器具の様々なピッチの向きの図である。

【図3C】ロボット器具の様々なピッチの向きの図である。

【図4A】ロボット器具の様々なロールの向きの図である。

【図4B】ロボット器具の様々なロールの向きの図である。

【図4C】ロボット器具の様々なロールの向きの図である。

【図5A】ロボット器具の様々なz軸並進位置の図である。

20

【図5B】ロボット器具の様々なz軸並進位置の図である。

【図5C】ロボット器具の様々なz軸並進位置の図である。

【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器具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す。

【図8】ロボット器具の背面斜視図である。

【図9】ロボット器具の側面分解図である。

【図10】手持ち式ロボット手術システムの様々な変形の概略図である。

【図11】ロボット器具の部分断面図である。

【図12】ロボット器具の作業空間のデカルトモデルを示す図である。

30

【図13】第1の可動域ベクトルを含む第1の2次元スライス領域を示す図である。

【図14】第1の実際の偏差ベクトルを含む、図13の2次元スライス領域を示す図である。

【図15】第2の可動域ベクトルを含む、図13の2次元スライス領域を示す図である。

【図16】第2の実際の偏差ベクトルを含む、図15の2次元スライス領域を示す図である。

【図17】第3の実際の偏差ベクトルを含む、図16の2次元スライス領域を示す図である。

【図18】第3の可動域ベクトル及び異なる原点を含む、図13の2次元スライス領域を示す図である。

40

【図19】第4の可動域ベクトルを含む、第2の2次元スライス領域を示す図である。

【図20】第4の実際の偏差ベクトルを含む、図19の2次元スライス領域を示す図である。

【図21】高さ指標を含む表示画面を示す図である。

【図22】ロール指標を含む表示画面を示す図である。

【図23】3つの異なる配置におけるピッチロール指標を含む3つの表示画面を示す図である。

【図24】ピッチロール指標を含む表示画面を示す図である。

【図25】照明アレイを含む視覚インジケータの概略図である。

【図26】器具がホームポジションにあるときのロール指標、ピッチロール指標及び高さ

50

指標を含む表示画面を示す図である。

【図 27A】表示画面の視覚インジケータを含む、ホームポジション以外の第 1 の空間配置にある手持ち式手術器具を示す図である。

【図 27B】表示画面の視覚インジケータを含む、ホームポジション以外の第 2 の空間配置にある手持ち式手術器具を示す図である。

【図 27C】表示画面の視覚インジケータを含む、ホームポジション以外の第 3 の空間配置にある手持ち式手術器具を示す図である。

【図 28】複数の光源を含む視覚インジケータを含む、第 1 の空間配置にある手持ち式手術器具を示す図である。

【図 29A】手持ち式手術器具の異なる空間配置に係する状態にある図 28 の視覚インジケータを示す図である。

【図 29B】手持ち式手術器具の異なる空間配置に係する状態にある図 28 の視覚インジケータを示す図である。

【図 29C】手持ち式手術器具の異なる空間配置に係する状態にある図 28 の視覚インジケータを示す図である。

【図 29D】手持ち式手術器具の異なる空間配置に係する状態にある図 28 の視覚インジケータを示す図である。

【図 29E】手持ち式手術器具の異なる空間配置に係する状態にある図 28 の視覚インジケータを示す図である。

【図 29F】手持ち式手術器具の異なる空間配置に係する状態にある図 28 の視覚インジケータを示す図である。

【図 29G】手持ち式手術器具の異なる空間配置に係する状態にある図 28 の視覚インジケータを示す図である。

【図 30A】手持ち式手術器具の異なる高さ配置に係する状態にある図 28 の並進視覚インジケータの概略図である。

【図 30B】手持ち式手術器具の異なる高さ配置に係する状態にある図 28 の並進視覚インジケータの概略図である。

【図 30C】手持ち式手術器具の異なる高さ配置に係する状態にある図 28 の並進視覚インジケータの概略図である。

【図 30D】手持ち式手術器具の異なる高さ配置に係する状態にある図 28 の並進視覚インジケータの概略図である。

【図 30E】手持ち式手術器具の異なる高さ配置に係する状態にある図 28 の並進視覚インジケータの概略図である。

【図 31】複数の光源を含む別の視覚インジケータ構成を示す図である。

【図 32A】ユーザの手の位置決めを容易にする例示的な表示画面の視覚インジケータを示す図である。

【図 32B】ユーザの手の位置決めを容易にする例示的な表示画面の視覚インジケータを示す図である。

【図 32C】ユーザの手の位置決めを容易にする例示的な表示画面の視覚インジケータを示す図である。

【図 33A】複数の光源を含む別の例示的な視覚インジケータを示す図である。

【図 33B】表示画面上の別の例示的な視覚インジケータを示す図である。

【図 34】柱で配置された複数の光源を含む別の例示的な視覚インジケータを示す図である。

【図 35A】手持ち式手術器具の空間配置に対応する、表示画面上の更に別の視覚インジケータを示す図である。

【図 35B】手持ち式手術器具の空間配置に対応する、表示画面上の更に別の視覚インジケータを示す図である。

【図 35C】手持ち式手術器具の空間配置に対応する、表示画面上の更に別の視覚インジケータを示す図である。

10

20

30

40

50

- 【図 3 6 A】ある形態にある別の視覚インジケータを示す図である。
- 【図 3 6 B】ある形態にある別の視覚インジケータを示す図である。
- 【図 3 6 C】ある形態にある別の視覚インジケータを示す図である。
- 【図 3 7】複数の光源を含む別の視覚インジケータを示す図である。
- 【図 3 8】機械的に実装されている視覚インジケータを示す図である。
- 【図 3 9】機械的に実装されている別の視覚インジケータを示す図である。
- 【図 4 0】機械的に実装されている更に別の視覚インジケータを示す図である。
- 【図 4 1】機械的に実装されている更に別の視覚インジケータを示す図である。
- 【図 4 2 A】更に例示的な視覚インジケータを示す図である。
- 【図 4 2 B】更に例示的な視覚インジケータを示す図である。
- 【図 4 2 C】更に例示的な視覚インジケータを示す図である。
- 【発明を実施するための形態】

【0012】

(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、患者 12 が全膝関節インプラント IM を受けることができるように、患者 12 の大腿骨 F 及び脛骨 T の一部を切除するための全膝関節処置を患者 12 に対して行っているように示されている。ロボットシステム 10 を使用して、硬組織／軟組織の除去を伴う処置、又は他の形態の治療を含む、他のタイプの外科処置を行ってもよい。例えば、処置には、組織の切断、組織の凝固、組織の焼灼、組織のステープル留め、組織の縫合等が含まれてもよい。いくつかの例では、外科処置は、膝関節手術、股関節手術、肩関節手術、脊椎手術又は足関節手術を含み、膝関節インプラント、股関節インプラント、肩関節インプラント、脊椎インプラント又は足関節インプラント等の外科的インプラントによって置換されるように組織を除去することを含んでもよい。本明細書に開示するロボットシステム 10 及び技法は、外科又は非外科の他の処置を行うために使用してもよく、産業用途又はロボットシステムが利用される他の用途で使用してもよい。

【0013】

図 1 及び図 2 を参照すると、ロボットシステム 10 は、器具 (instrument) 14 を含む。いくつかの例では、ユーザは、(図 1 に示すように) 手で器具 14 を保持し支持する。いくつかの例では、器具が受動アーム (例えば、ロックジョイントを有するリンク型アーム、重量平衡式アーム)、能動アーム等の補助デバイスによって少なくとも部分的に、又は完全に支持されている間、ユーザは器具 14 を手で保持することができる。図 1 及び図 2 に最もよく示すように、器具 14 は、手で把持される、又はユーザ、補助デバイス若しくは両方によって支持される手持ち部分 16 を含む。

【0014】

器具 14 は、ガイドアームの補助なしにユーザが自由に動かし且つ支持してもよく、例えば、物質の物理的除去を実施している間、処置中にツールの重量がユーザの手のみによって支持されるように、人間のユーザによって保持されるように構成してもよい。言い換えれば、器具 14 は、ユーザの手が重力の力に逆らって器具 14 を支持しているように保持されるように構成してもよい。器具 14 は、8 ポンド (3.63 キログラム) 以下、6 ポンド (2.72 キログラム) 以下、5 ポンド (2.27 キログラム) 以下又は 3 ポンド (1.36 キログラム) 以下の重量であってもよい。器具 14 は、ANSI/AAMI HE75:2009 に対応する重量を有していてもよい。器具 14 は、ツール 20 を受けるツール支持体 18 も備える。いくつかの例では、ツール 20 が鋸刃 380 である場合、ツール支持体 18 は刃支持体と称してもよい。器具 14 を操作する方法は、ユーザが、受動アーム又はロボットアームからいかなる補助もなしに器具 14 の重量を吊り下げることを含んでもよい。代替的に、器具 14 の重量は、ユーザが器具の全重量を支持する必要がないように、平衡受動アーム、補助デバイス又は能動ロボットアームを使用することにより支持してもよい。こうした場合、ユーザは、器具 14 と相互作用するか又は器具 14 を誘導するために、依然として手持ち部分 16 を把持してもよい。Kang らの米国特許第 9

10

20

30

40

50

、060、794号の受動アーム及び内容は、引用することにより本明細書の一部をなすものとする。さらに、いくつかの例では、ロボットシステム10には、直列の2つ以上の関節を有するロボットアームがなくてもよい。

【0015】

ツール20は、用具支持体18に結合して、更に後述するロボットシステム10の或る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20は、エンドエフェクタとも称してもよい。ツール20は、必要なときに新しいツール又は異なるツール20を取り付けることができるように、ツール支持体18から取外し可能であってもよい。ツール20は、ツール支持体18に恒久的に固定してもよい。ツール20は、患者12の組織に接触するように設計されたエネルギーアプリケータを含んでもよい。いくつかの例では、ツール20は、図1及び図2に示すような鋸刃、又は他のタイプの切断付属品であってもよい。こうした例では、ツール支持体は、刃支持体と称してもよい。刃支持体に言及するいかなる場合においても、それは「ツール支持体」という用語に置き換えてもよく、その逆もまた同様であることが理解されるべきである。しかしながら、引用することにより本明細書の一部をなすものとするBozungの米国特許第9,707,043号の内容等、他のツールを企図してもよい。いくつかの例では、ツール20は、ドリルビット、超音波振動チップ、バー、ステープラ等であってもよい。ツール20は、引用することにより本明細書の一部をなすものとするWalenらの米国特許第9,820,753号又は米国特許第10,687,823号に示すように、刃の振動運動を引き起こす刃アセンブリ及び駆動モータを備えていてもよい。こうした駆動構成要素は、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、駆動モータMに結合された伝達装置TMを含んでもよい。

【0016】

2020年7月15日に出願された「Robotic Handheld Surgical Instrument Systems and Methods」と題するPCT/US2020/042128号に記載されているシステム及び方法もまた、引用することにより本明細書の一部をなすものとする。

【0017】

1つ以上のアクチュエータ21、22、23を含むアクチュエータアセンブリ400が、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、ユーザが手持ち部分16を保持している間に、ツール20を所望の位置又は向きに（例えば、切除中に大腿骨F、脛骨T又は両方に対して所望の姿勢で）配置するのを支援するロボット運動を提供する。アクチュエータアセンブリ400は、並列、直列又はそれらの組合せで配置されるアクチュエータ21、22、23を含んでもよい。いくつかの例では、アクチュエータ21、22、23は、ツール支持体18を手持ち部分16に対して3自由度以上で動かす。いくつかの例では、アクチュエータアセンブリ400は、ピッチ及びz軸並進等の少なくとも2自由度で、ツール支持体18を手持ち部分16に対して動かすように構成されている。本明細書に示すようないくつかの例では、アクチュエータ21、22、23は、ツール支持体18及びその関連するツール支持体座標系TCSを、手持ち部分16及びその関連するベース座標系BCSに対して3自由度でのみ動かす。例えば、ツール支持体18及びそのツール支持体座標系TCSは、その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、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軸並進運動を提供してもよい。ピッチ、ロール及びz軸並進における許容される運動は、図2、並びに図3A～図3C、図4A～図4C及び図5A～図5Cの概略図において、それぞれ矢印で示す。図6は、器具14の可動域内におけるツール支持体18の姿勢及び手持ち部分16の姿勢の1つの例を示す。図に示さないいくつかの例では、アクチュエータは、ツール支持体18を手持ち部分16に対して4自由度以上で動かしてもよい。

【0018】

図2に戻ると、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の動きを制約するために、受動連結機構26を有する制約アセンブリ24を使用してもよい。制約アセンブリ24は、本明細書に記載するように運動を制約する任意の好適な連結機構

(例えば、任意の好適な形状又は構成を有する１つ以上のリンク)を含んでもよい。図２に示す例では、制約アセンブリ２４は、ヨー運動を制約するようにベース座標系ＢＣＳのｚ軸を中心とする回転を制約すること、ｘ軸並進を制約するようにベース座標系ＢＣＳのｘ軸方向の並進を制約すること、及びｙ軸並進を制約するようにベース座標系ＢＣＳのｙ軸方向の並進を制約することにより、ツール支持体座標系ＴＣＳの運動を制限するように動作する。アクチュエータ２１、２２、２３及び制約アセンブリ２４は、更に後述する或る特定の状況において、物理的な鋸切断ガイド等、物理的な切断ガイドの機能を効果的に模倣するように制御される。

【００１９】

図７を参照すると、制御システムは、器具コントローラ２８を含んでもよく、又は他のタイプの制御ユニットが、器具１４を制御するために設けられる。器具コントローラ２８は、１つ以上のコンピュータ、又は、器具１４の動作及び手持ち部分１６に対するツール支持体１８（及びツール２０）の運動を指示する他の任意の好適な形態のコントローラを含んでもよい。器具コントローラ２８は、中央処理装置（ＣＰＵ）又は他のプロセッサ、メモリ、及び記憶装置（図示せず）を有していてもよい。器具コントローラ２８には、後述するようなソフトウェアがロードされている。プロセッサは、器具１４の動作を制御する１つ以上のプロセッサを含んでもよい。プロセッサは、任意のタイプのマイクロプロセッサ、マルチプロセッサ又はマルチコア処理システムであってもよい。器具コントローラ２８は、付加的又は代替的に、１つ以上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、システムオンチップ、ディスクリート回路、又は本明細書に記載する機能を実行することができる他の好適なハードウェア、ソフトウェア若しくはファームウェアを含んでもよい。プロセッサという用語は、いかなる実施形態も単一のプロセッサに限定するようには意図されていない。また、器具１４は、１つ以上のディスプレイ又は入力デバイス（例えば、トリガ、押しボタン、フットスイッチ、キーボード、マウス、マイクロホン（音声作動）、ジェスチャ制御デバイス、タッチスクリーン等）を有するユーザインタフェースＵＩを備えてもよい。

【００２０】

制御システム６０は、１つ以上のソフトウェアプログラム及びソフトウェアモジュールを更に含む。ソフトウェアモジュールは、ロボットシステム１０の制御を支援するようにデータを処理するように、ナビゲーションコントローラ３６、器具コントローラ２８又は両方で動作する単数又は複数のプログラムの一部であってもよい。ソフトウェアプログラム又はモジュールは、器具コントローラ２８又はナビゲーションコントローラ３６の１つ以上のプロセッサ７０によって実行されるように、ナビゲーションコントローラ３６、器具コントローラ２８又は両方の非一時的メモリ６４に記憶されたコンピュータ可読命令を含む。メモリ６４は、ＲＡＭ、不揮発性メモリ等の任意の好適な構成のメモリであってもよく、ローカルに又はリモートサーバから実装してもよい。さらに、ユーザを促すか又はユーザと通信するソフトウェアモジュールは、単数又は複数のプログラムの一部を形成してもよく、ナビゲーションコントローラ３６、器具コントローラ２８又は両方のメモリ６４に記憶された命令を含んでもよい。ユーザは、ナビゲーションユーザインタフェースＵＩ又は他のユーザインタフェースＵＩの入力デバイスのうちの任意のものとインタラクトして、ソフトウェアモジュールと通信してもよい。ユーザインタフェースソフトウェアは、ナビゲーションコントローラ３６又は器具コントローラ２８とは別個のデバイスで実行してもよい。

【００２１】

器具コントローラ２８は、ツール２０への（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）電力を制御することと、手持ち部分１６に対するツール支持体１８の動きを（例えば、アクチュエータ２１、２２、２３を制御することにより）制御すること等により、ツール２０の動作を制御する。器具コントローラ２８は、手持ち部分１６に対するツール支持体１８及びツール２０の状態（例えば、位置又は向き）を制御する。器具コントローラ２８は、速度（線又は角）、加速度、又はアクチュエータ２１、２２、２３

によって引き起こされる手持ち部分 16 に対する又は解剖学的構造に対するツール 20 の運動の他の派生物を制御することができる。視覚インジケータがツール支持体又は手持ち部分に結合される、視覚インジケータの実施態様の場合、器具コントローラは、視覚インジケータを制御してもよい。しかしながら、いくつかの代替形態では、制御システム内の異なるプロセッサが視覚インジケータを制御してもよい。

【0022】

図 2 に示すように、器具コントローラ 28 は、ツール支持体 18 若しくは手持ち部分 16 又はそれらの組合せに取り付けられた制御ハウジング 29 を備えてもよく、制御ハウジング 29 の内部には 1 つ以上の制御基板 31 (例えば、1 つ以上のプリント回路基板及び関連する電子部品) が位置している。制御基板 31 は、アクチュエータ 21、22、23 及び (例えば、モータコントローラを介して) 駆動モータ M を制御する、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 (FPGA)、ドライバ、メモリ、センサ又は他の電子部品を備えていてもよい。また、器具コントローラ 28 は、器具とは別個であってもよいが制御基板 31 とデータ通信及び電力通信を行う、制御コンソール 33 を備えていてもよい。本明細書に記載するセンサ S、アクチュエータ 21、22、23 又は駆動モータ M は、制御基板 31 に信号を供給してもよく、制御基板 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 又は駆動モータ M に電力を供給してそれらを制御するために、制御基板 31 に制御コマンド (例えば、電流コマンド、トルクコマンド、速度コマンド、角度コマンド、位置コマンド又はそれらの組合せとともに、様々な制御及び構成パラメータ) をフィードバックしてもよい。処理は、制御ハウジングの (複数の場合もある) 制御基板で実行してもよいことが企図される。いくつかの例では、コンソールと制御ハウジングとの間で制御アルゴリズムの処理を分散してもよい。1 つの例では、位置制御及び速度制御の計算はコンソールで行ってもよく、電流制御は、制御ハウジングに位置するフィールドプログラマブルゲートアレイで行ってもよい。当然ながら、別個の制御ハウジングは必要ではなく、又は、処理を任意の数の異なる場所で行うことができることが企図される。

【0023】

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 及び駆動モータ M に電力を供給するとともにそれらを制御する、単一のコンソールを含んでもよい。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 に電力を供給するとともにそれらを制御する 1 つのコンソールと、駆動モータ M に電力を供給するとともにそれを制御する別のコンソールとを含んでもよい。駆動モータ M に電力を供給するとともにそれを制御するこうした 1 つのコンソールは、引用することにより本明細書の一部をなすものとする、「Control Console to which Powered Surgical Handpieces are Connected, the Console Configured to Simultaneously Energize more than one and less than all of the Handpieces」と題する、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ようなものであってもよい。フレックス回路としても知られるフレキシブル回路 FC が、アクチュエータ 21、22、23 又は他の構成要素を器具コントローラ 28 と相互接続してもよい。例えば、フレキシブル回路 FC は、アクチュエータ 21、22、23 と制御基板 31 との間に設けてもよい。付加的又は代替的に、構成要素間に有線又は無線の他の形態の接続が存在してもよい。

【0024】

再び簡単に図 1 を参照すると、ロボットシステム 10 は、ナビゲーションシステム 32 を更に含む。ナビゲーションシステム 32 の 1 つの例は、引用することにより本明細書の一部をなすものとする、「Navigation System Including Optical and Non-Optical Sensors」と題する、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。ナビゲーションシステム 32 は、様々な対象の動きを追跡する。こうした対象としては、例えば、器具 14、ツール 20、及び解剖学構造、例えば、大腿骨 F 及び脛骨 T が挙げられる。ナビゲーションシステム 32 は、これらの対象を追跡

して、（ナビゲーション）ローカライザ座標系 L C L Z に対する各対象の状態情報を収集する。本願で使用する対象の状態とは、限定されないが、追跡された対象の位置、向き若しくは両方を定義するデータ（例えば、その座標系）、又は位置、向き若しくは両方の等価物／派生物を含む。例えば、状態は、対象の姿勢であってもよく、又は、線速度データ、角速度データ等を含んでもよい。

【0025】

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 又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 を含んでもよい。ナビゲーションユーザインタフェース UI が、ナビゲーションコントローラ 36 と作動的に通信する。ナビゲーションユーザインタフェース UI は、1 つ以上のディスプレイ 38 を含む。ナビゲーションシステム 32 は、1 つ以上のディスプレイ 38 を使用して、追跡された対象の相対的な状態のグラフィカルな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、又は他の方法で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 つ以上の入力デバイスを更に含む。こうした入力デバイスは、対話型タッチスクリーンディスプレイを含む。しかしながら、入力デバイスは、押しボタン、ポインタ、フットスイッチ、キーボード、マウス、マイクロホン（音声作動）、ジェスチャ制御デバイス等のうちの任意の 1 つ以上を含んでもよい。いくつかの例では、ユーザは、ポインタ上に位置するボタンを使用して、ユーザインタフェース UI のアイコン及びメニューを通じてナビゲートして選択を行い、ロボットシステム 10 を構成するか又はワークフローを進めてもよい。後述するように、表示画面を含む視覚インジケータのうちの任意のものを、ディスプレイ 38 のうちの 1 つ以上等、ナビゲーションユーザインタフェース UI 上に表示してもよい。

10

20

【0026】

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 に結合されたローカライザ 44 も含む。1 つの例では、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 つ以上の光学センサ 50 を収容する外側ケーシング 48 を有する。ローカライザ 44 は、それ自身のローカライザコントローラ 49 を備えていてもよく、ビデオカメラ VC を更に備えていてもよい。

【0027】

ナビゲーションシステム 32 は、1 つ以上のトラックを含む。いくつかの例では、トラックは、ポインタトラック P T、ツールトラック 52、第 1 の患者トラック 54、及び第 2 の患者トラック 56 を含む。図 1 の図示する例では、ツールトラック 52 は、器具 14 に堅固に取り付けられ、第 1 の患者トラック 54 は、患者 12 の大腿骨 F に堅固に貼り付けられ、第 2 の患者トラック 56 は、患者 12 の脛骨 T に堅固に貼り付けられている。この例では、患者トラック 54、56 は、骨の部分に堅固に貼り付けられている。トラック 52、54、56 及びポインタトラックは、それらのそれぞれの対象（例えば、骨、ツール）及びナビゲーションシステム 32 に、手で、自動で、又はそれらの組合せでレジストレーションされる。いくつかの例では、ポインタトラック P T は、ポインタ 57 に堅固に貼り付けられ、ローカライザ座標系 L C L Z を含む 1 つ以上の座標系に解剖学的構造をレジストレーションするために使用されるか、又は他の較正及びレジストレーション機能のために使用される。1 つの例では、ポインタ 57 を使用して、患者トラック 54、56 をトラック 54、56 が取り付けられている骨にそれぞれレジストレーションし、ツールトラック 52（及び任意選択的に 53）をツール支持体 18、ツール 20、手持ち部分 16 又はそれらの組合せにレジストレーションしてもよい。いくつかの例では、ポインタトラック P T を使用して、トラック座標系に対して器具 14 の T C P をツールトラック 52 にレジストレーションしてもよい。このように、ローカライザ 44 が位置から位置に動かされる場合、器具 14 のレジストレーションは、ツールトラック 52 に対して位置付けられる。しかしながら、トラック 52、54、56 のレジストレーションの他の手段が企図され、ポインタトラック P T とともに又は別個に実装してもよい。他のトラック位置も企図される。

30

40

50

【0028】

本明細書を通して、「骨からトラックへ」又は「器具TCPからトラックへ」等の様々な変換、すなわち、カメラ座標系（C）に対してではなく、「トラック座標系」に対する変換が記載される。ローカライザ座標系は、すべての追跡された対象がCを基準として測定されるため、レジストレーション及び骨準備中に中間座標系として使用してもよい。レジストレーション中、最終的に、様々なローカライザ参照姿勢が数学的に結合され、レジストレーション結果は、カメラ（すなわちC）が移動する場合にレジストレーションが依然として有効であるように「トラックを基準として」記憶される。

【0029】

ツールトラック52は、器具14の任意の好適な構成要素に貼り付けてもよく、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、ツール20に直接、又はそれらの組合せに取り付けてもよい。トラック52、54、56、PTは、締結具、クランプ等による任意の好適な方法で、それぞれの構成要素に固定してもよい。例えば、トラック52、54、56、PTは、関連する対象に対するそのそれぞれのトラックの関係（測定）を決定する好適な（補足的な）方法がある限り、固く固定してもよく、柔軟に接続してもよく（光ファイバ）、又は物理的にまったく接続しなくてもよい（超音波）。トラック52、54、56、PTのうちの任意の1つ以上は、アクティブマーカ58を含んでもよい。アクティブマーカ58は、発光ダイオード（LED）を含んでもよい。代替的に、トラック52、54、56、PTは、カメラユニット46から放出される光を反射する、反射器等のパッシブマーカを有していてもよい。また、印刷されたマーカ、又は本明細書に具体的に記載していない他の好適なマーカを利用してもよい。

【0030】

対象を追跡する目的で、様々な座標系を採用してもよい。例えば、座標系は、ローカライザ座標系C、ツール支持体座標系TCS、ベース座標系BCS、トラック52、54、56、PT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つ以上の座標系、術前若しくは術中画像（例えば、CT画像、MRI画像等）又は解剖学的構造のモデル（例えば、2D又は3Dモデル）（例えば、インプラント座標系）に関連する1つ以上の座標系、及びTCP（ツール中心点）座標系等を含んでもよい。いくつかの例では、ロボットシステム10は、標的骨の2D又は3Dモデルを作成するために、術前撮影又は術中撮像に依存しない。むしろ、ロボットシステムは、ポインタトラックPTを使用して、標的解剖学的構造をレジストレーションし、様々な解剖学的ランドマークを取り込む撮像なしシステムで使用してもよく、そして、取り込まれたデータは、制御システム60により、取り込まれたデータに一致するように公称骨モデルをモーフィングするために処理される。他の例では、術前撮影及び術中撮像を使用して患者の標的領域を撮像し、そして2D又は3D画像を標的骨の3Dモデルに変換する。ロボットシステム10が、標的手術領域の3Dモデルを作成する際に、撮像ありの手順と撮像なしの手順との組合せを使用してもよいこともまた企図される。1つの例示的なシステムは、引用することにより本明細書の一部をなすものとする米国特許第8,617,174号に記載されている。様々な座標系における座標は、例えば、レジストレーション、較正、幾何学的関係、測定等を介して、座標系間の関係を確立する際に変換を使用して他の座標系に変換してもよい。

【0031】

図2に示すように、いくつかの例では、TCPは、ツール20の遠位端で画定されるTCP座標系の所定の基準点又は原点である。ツール20の幾何学的形状は、TCP座標系に対して、又はツール支持体座標系TCSに対して定義してもよい。ツール20は、TCP座標系に対して、又はツール支持体座標系TCSに対して定義され、器具14の制御ハウジング29内の制御基板31、ナビゲーションシステム32、器具コントローラ28、又はそれらの組合せの不揮発性メモリに記憶された、1つ以上の幾何学特徴、例えば外周、円周、半径、直径、幅、長さ、高さ、体積、面積、表面／平面、（いずれか1つ以上の軸に沿った）可動域包絡線等を含んでもよい。ツール中心点（TCP）は、1つの例では、ツール20で定義された所定の基準点及び対応する座標系である。TCPは、他の座標

系に対する既知の、又は計算可能な（すなわち、必ずしも静的ではない）姿勢を有する。TCP座標系は、原点と、TCPの姿勢を定義する一組の軸（例えば、x軸、y軸、z軸）とを含む。TCPを追跡する（又はTCPの姿勢を知る）ことによって、ロボットシステム10は、TCPの姿勢及びTCPと器具14の特徴との既知の位置関係に基づいて器具14の位置及び向きを計算してもよい。いくつかの例では、ツール20は、刃面（例えば、鋸刃の場合）を有し、これは、便宜上且つ例示を容易にするために記載するが、ツール20をいかなる特定の形態にも限定するようには意図されていない。点、他のプリミティブ、メッシュ、他の3Dモデル等を用いて、ツール20を仮想的に表現することができる。TCP座標系の原点は、TCP座標系がツール20の遠位先端上の原点に対して追跡されるように、ツール20のバーの球面中心又は鋸刃27の遠位端に位置してもよい。代替的に、TCPは、複数の追跡された点を用いて追跡してもよい。TCPは、ツール20の構成に応じて様々な方法で定義してもよい。器具は、関節／モータエンコーダ、又は他の任意の非エンコーダ位置検知方法を採用してもよく、そのため、制御システム60は、手持ち部分16及びBCSに対するTCPの姿勢又は位置を決定してもよい。ツール支持体18は、TCPの姿勢を決定するために関節測定を使用してもよく、又は、TCPの姿勢を直接測定する技法を採用することができる。ツール20の制御は、中心点に限定されない。例えば、任意の好適なプリミティブ、メッシュ等を使用して、ツール20を表現することができる。TCPは、代替的に、座標系とは対照的に、点として定義してもよいことが理解されるべきである。TCP座標系により、鋸刃又は他のツールの姿勢を決定した後に、ツールの任意の必要な基準点又は幾何学的態様を計算することができる。

10

20

【0032】

TCP座標系、ツール支持体座標系TCS、及びツールトラッカ52の座標系は、ツール20の構成に応じて様々な方法で定義することができる。例えば、ポインタ57は、ツール支持体18又はツール20内の較正ディボットCDとともに、ツールトラッカ52の座標系に対するツール支持体座標系TCSの姿勢をレジストレーション（較正）し、ツールトラッカ52の座標系に対するTCP座標系の姿勢を決定し、又はツール支持体座標系TCSに対するTCP座標系の姿勢を決定するために、使用してもよい。他の技法を使用して、1つ以上の追加のトラッカ／マーカをツール20に直接取り付け固定すること等により、TCP座標系の姿勢を直接測定することができる。いくつかのバージョンでは、トラッカ／マーカはまた、手持ち部分16、ツール支持体18又は両方に取り付けて固定してもよい。手持ち部分がトラッカを含む場合では、ローカライザ／カメラ座標系LCZに対する手持ち部分の姿勢を直接測定してもよい。さらに他の代替形態では、中間ツール支持体座標系TCSを使用して、ツールトラッカに対してTCPを定義してもよい。

30

【0033】

ツール支持体18は、アクチュエータ21、22、23を介して手持ち部分16に対して多自由度で移動可能であるため、器具14は、エンコーダ、（アナログ又はデジタル出力を有する）ホール効果センサ、又は他の任意の位置検知方法を採用して、ベース座標系BCSに対するTCP座標系又はツール支持体座標系TCSの姿勢を測定してもよい。1つの例では、器具14は、更に後述するように、アクチュエータ21、22、23の作動を測定するセンサからの測定値を使用して、ベース座標系BCSに対するTCP座標系又はツール支持体座標系TCSの姿勢を決定してもよい。

40

【0034】

ローカライザ44は、トラッカ52、54、56、PT（例えば、その座標系）をモニタリングして、トラッカ52、54、56、PTのそれぞれの状態を決定し、その状態は、それがそれぞれに取り付けられた対象の状態にそれぞれ対応する。ローカライザ44は、トラッカ52、54、56、PT、及び関連する対象（ツール、患者、ツール支持体及び手持ち部分等）の状態を決定するために、既知の技法を実行してもよい。ローカライザ44は、トラッカ52、54、56、PTの状態をナビゲーションコントローラ36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36は、トラッカ52、54、56、PTの状態を決定し、器具コントローラ28に通信する。

50

【0035】

ナビゲーションコントローラ36は、1つ以上のコンピュータ、又は他の任意の好適な形態のコントローラを含んでもよい。ナビゲーションコントローラ36は、中央処理装置（CPU）又は他のプロセッサ、メモリ及び記憶装置（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又はマルチプロセッサシステムであり得る。ナビゲーションコントローラ36には、ソフトウェアがロードされている。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、追跡されている対象の位置又は向き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、付加的又は代替的に、1つ以上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、システムオンチップ、ディスクリート回路、又は本明細書に記載する機能を実行することができる他の好適なハードウェア、ソフトウェア若しくはファームウェアを含んでもよい。プロセッサという用語は、いかなる実施形態も単一のプロセッサに限定するように意図されていない。

10

【0036】

ナビゲーションシステム32の1つの例を対象の状態を決定するように示すが、ナビゲーションシステム32は、器具14、ツール20又は患者12を追跡する他の任意の好適な構成を有していてもよい。別の例では、ナビゲーションシステム32又はローカライザ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撮像装置を含んでもよい。超音波撮像装置は、上述した対象、例えば、器具14、ツール20又は患者12のうちの任意のものを撮像し、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又は両方の組合せであってもよい。ナビゲーションコントローラ36は、対象の状態を決定するために、画像をほぼリアルタイムで処理してもよい。超音波撮像装置は、任意の好適な構成を有してよく、図1に示すようなカメラユニット46とは異なるものであってもよい。

20

【0037】

別の例では、ナビゲーションシステム32又はローカライザ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ていてもよい。器具14、ツール20又は患者12に、RFエミッタ又はトランスポンダを取り付けてもよい。RFエミッタ又はトランスポンダは、受動的又は能動的に通電してもよい。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RF信号を解析して、それに相対的な状態に関連付けてもよい。RF信号は、任意の好適な周波数であってもよい。RFトランシーバは、RF信号を効果的に使用して対象を追跡するために、任意の好適な場所に位置決めしてもよい。さらに、RFエミッタ又はトランスポンダは、図1に示すトラック52、54、56、PTとははるかに異なってもよい任意の好適な構造的構成を有していてもよい。

30

【0038】

更に別の例では、ナビゲーションシステム32又はローカライザ44は、電磁気ベースである。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トランシーバを含んでもよい。器具14、ツール20又は患者12に、任意の好適な磁気トラック、電磁トラック、誘導トラック等、EM構成要素を取り付けてもよい。トラックは、受動的に又は能動的に通電してもよい。EMトランシーバは、EM場を発生させ、トラックから受信した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信号を解析して、それに相対的な状態に関連付けてもよい。この場合もまた、ナビゲーションシステム32の例は、図1に示すナビゲーションシステム32の構成とは異なる構造的構成を有していてもよい。

40

【0039】

50

ナビゲーションシステム 32 は、本明細書に具体的に記載していない他の任意の好適な構成要素又は構造を有していてもよい。さらに、図示するナビゲーションシステム 32 に関して上述した技法、方法又は構成要素のうちの任意ものを、本明細書に記載するナビゲーションシステム 32 の他の例のうちの任意のものに対して、実施又は提供してもよい。例えば、ナビゲーションシステム 32 は、慣性追跡のみ、又は追跡技法の任意の組合せを利用してもよく、付加的又は代替的に、光ファイバベースの追跡、マシンビジョン追跡等を含んでいてもよい。

【0040】

図 7 を参照すると、ロボットシステム 10 は、他の構成要素の中でもとりわけ、器具コントローラ 28 及びナビゲーションコントローラ 36 を備える制御システム 60 を含む。制御システム 60 は、1 つ以上のソフトウェアプログラム及びソフトウェアモジュールを更に含む。ソフトウェアモジュールは、ロボットシステム 10 の制御を支援するようにデータを処理するように、器具コントローラ 28、ナビゲーションコントローラ 36 又はそれらの組合せ上で動作する単数又は複数のプログラムの一部であってもよい。ソフトウェアプログラム又はモジュールは、器具コントローラ 28 の 1 つ以上のプロセッサ 70 によって実行されるように、器具コントローラ 28、ナビゲーションコントローラ 36 又はそれらの組合せ上のメモリ 64 に記憶されたコンピュータ可読命令を含む。メモリ 64 は、非一時的メモリ、RAM、不揮発性メモリ等の任意の好適な構成のメモリであってもよく、ローカルに、又はリモートデータベースから実装してもよい。さらに、ユーザを促すか又はユーザと通信するソフトウェアモジュールは、単数又は複数のプログラムの一部を形成してもよく、器具コントローラ 28、ナビゲーションコントローラ 36 又はそれらの組合せ上のメモリ 64 に記憶された命令を含んでもよい。ユーザは、ソフトウェアモジュールと通信するために、ナビゲーションユーザインタフェース UI 又は他のユーザインタフェース UI の入力デバイスのうちの任意のものとインタラクトしてもよい。ユーザインタフェースソフトウェアは、器具コントローラ 28 又はナビゲーションコントローラ 36 とは別個のデバイスで実行してもよい。器具 14 は、電力接続、データ接続又は両方を介して器具コントローラ 28 と通信してもよい。電力接続、データ接続又は両方は、図 7 の BUS / COMM 接続 37 として示すように、ナビゲーションシステム 32 によって生成され器具コントローラ 28 に送信される位置及び向きデータに基づいて器具 14 を制御するために使用される入力及び出力のための経路を提供してもよい。

【0041】

制御システム 60 は、本明細書に記載する機能及び方法を実行するのに好適な入力デバイス、出力デバイス及び処理デバイスの任意の好適な構成を備えてもいてもよい。制御システム 60 は、器具コントローラ 28、ナビゲーションコントローラ 36 又はそれらの組合せを備えていてもよく、又は、これらのコントローラのうちの 1 つのみ、若しくは追加のコントローラを備えていてもよい。コントローラは、図 7 の BUS / COMM 接続 37 として 1 つの例で示すような有線バス又は通信ネットワークを介して、無線通信を介して、又は他の方法で通信してもよい。制御システム 60 は、コントローラとも称してもよい。制御システム 60 は、1 つ以上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、システムオンチップ、ディスクリート回路、センサ、ディスプレイ、ユーザインタフェース、インジケータ、又は本明細書に記載する機能を実行することができる他の好適なハードウェア、ソフトウェア若しくはファームウェアを含んでいてもよい。

【0042】

(器具)

1 つの例示的な構成において、図 8 及び図 9 に、1 つの例示的な器具 14 を最もよく示す。器具 14 は、ユーザが保持する手持ち部分 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、ツール支持体 18 を手持ち部分 16 に対して少なくとも 3 自由度で動かすようにツール支持体 18 及び手持ち部分 16 を作動的に相互接続する複数のアクチュエータ 21、22、23 を有するアクチュエータアセンブリ 400 と、ツール支持体 18 及び手持ち部分 16 を作動的に相互接続する受動連

結機構 26 を有する制約アセンブリ 24 とを備える。図を通して特定のロボット器具を記載しているが、本明細書に記載する視覚インジケータは、器具 14 と異なる自由度を有するものを含む、任意の多自由度のロボット手術器具内で使用してもよい。

【0043】

手持ち部分 16 は、多くの場合、ユーザが器具 14 を操作し、誘導し、又は把持することができるように、ユーザが把持するグリップ 72 を備える。手持ち部分 16 は、ユーザの手が保持するグリップ、濡れているか又は血まみれであるときにユーザの手が滑るのを防止するテクスチャコーティング又は混合材料コーティング等の人間工学的特徴部があるように構成してもよい。手持ち部分 16 は、手のサイズの異なるユーザに適応するように、ユーザの手又は指の輪郭と合致するような輪郭のテーパを含んでもよい。手持ち部分 16 は、グリップ 72 が 1 つ以上の締結具、接着剤、溶接等によって取り付けられるベース 74 も備える。図示するバージョンでは、ベース 74 は、概して中空の円筒状の形状を有するスリーブ 76 を含む。スリーブ 76 から、関節支持体 77、78、79 が延在している。アクチュエータ 21、22、23 は、関節支持体 77、78、79 において、更に後述する関節を介してベース 74 に移動可能に結合してもよい。

【0044】

ツール支持体 18 は、ツール支持体本体 80 を含み、そこに、1 つ以上の取付場所 82 でツール支持体 18 に固定された 1 つ以上のトラッカ取付具を介して、ツールトラッカ 52 を固定し又は取外し可能に取り付けることができる。1 つの例では、ツールトラッカ 52 は、ツール支持体 18 と一体化されている。別の例では、ツールトラッカ 52 は、1 つ以上の取付場所 82 に取外し可能に取り付けられる。ツール 20 は、図示するバージョンではツール支持体 18 に取外し可能に結合されている。特に、ツール支持体 18 は、引用することにより本明細書の一部をなすものとする 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 等のツール連結器を備える。ヘッド 84 は、振動式の鋸刃と同様に、矢状式の鋸刃又は鋸刃カートリッジを利用するように構成してもよい。ツール 20 の動作を駆動する駆動モータ M は、（例えば、いくつかのバージョンにおいて鋸刃の振動を駆動するために）ツール支持体 80 に配置される。ツール 20 は、引用することにより本明細書の一部をなすものとする 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 に取り付けるとともにヘッド 84 から解放してもよい。図 9 に最もよく示すように、ツール支持体 18 は、更に後述するように、アクチュエータ 21、22、23 が関節を介してツール支持体 18 に移動可能に結合されるべき複数のアクチュエータ取付具 86、88、90 も備える。アクチュエータ取付具 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 自由度で動くことができるようにアクチュエータ 21、22、23 を取り付けのに好適な、ブラケット等を含んでもよい。

【0045】

アクチュエータ 21、22、23 は、図示するバージョンでは、ベース 74 とツール支持体 80 との間に延在する電動リニア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 の有効長が変化して、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体 80 とベース 74 との間の距離を変更する。したがって、制御システム 60 は、制御システム 60 によって各アクチュエータ 21、22、23 にそれぞれ与えられた個々の入力に応答して、それらの有効長を変化させ、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 を目標姿勢になるように動かすように、アクチュエータ 21、22、23 に連携して動作するように指令する。図示するバージョンでは、3 つのアクチュエータ 21、22、23 が設けられており、第 1 のアクチュエータ 21、第 2 のアクチュエータ 22 及び第 3 のアクチュエータ 23、又は前部アクチュエータ 21、22 及び後部アクチュエータ 23 と称してもよい。第 1 のアクチュエータ 21、第 2 のアクチュエータ 22 及び第 3 のアクチュエータ 23 は、第 1 の能動軸 AA1、第 2 の能動軸 AA2 及び第 3 の能動軸 AA3（図 9 を参照）に沿って有効長が調整可能である。第 1 のアクチュエータ 21、第 2 のアクチュエータ 22 及び第 3 のアクチュエータ 23 は、上述

したように、手持ち部分 16 に対するツール支持体 18 のピッチの向き、ロールの向き及び z 軸並進位置のうちの 1 つ以上を調整するために、独立して有効長が調整可能である。いくつかの例では、より多くのアクチュエータを設けてもよい。アクチュエータは、いくつかの例では、回転式アクチュエータを含んでもよい。アクチュエータ 21、22、23 は、任意の好適なサイズ又は形状の 1 つ以上のリンクを有する連結機構を備えてもよい。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 に対するツール支持体 18 の動きを可能にするのに好適な任意の構成を有していてもよい。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、又はアクチュエータの何らかの他の配置があってもよい。

【0046】

このバージョンでは、アクチュエータ 21、22、23 は、複数の能動関節を介してベース 74 及びツール支持体 80 に結合される。能動関節は、アクチュエータ取付具 86、88、90 においてアクチュエータ 21、22、23 をツール支持体 80 に結合する一組の第 1 の能動関節 92 を含む。1 つのバージョンでは、図 9 に示すように、第 1 の能動関節 92 は、能動自在継手を含む。自在継手は、第 1 のピボットピン 94 及び継手ブロック 96 を含む。第 1 のピボットピン 94 は、継手ブロック 96 の貫通ボア 98 を介して、継手ブロック 96 をアクチュエータ取付具 86、88、90 に枢動可能に接続する。止めねじ 100 が、第 1 のピボットピン 94 をアクチュエータ取付具 86、88、90 に固定してもよい。自在継手はまた、第 2 のピボットピン 104 を含んでもよい。継手ブロック 96 は、第 2 のピボットピン 104 を受けるための十字ボア 102 を有する。第 2 のピボットピン 104 は、第 1 のピボットピン 94 を受ける貫通ボア 103 を有し、第 1 のピボットピン 94、継手ブロック 96 及び第 2 のピボットピン 104 が自在継手の十字を形成するようにする。各自在継手の第 1 のピボットピン 94 及び第 2 のピボットピン 104 は、交差するピボット軸 PA を画定する。第 2 のピボットピン 104 は、アクチュエータ 21、22、23 のピボットヨーク 106 を継手ブロック 96 に枢動可能に接続する。その結果、アクチュエータ 21、22、23 は、ツール支持体 80 に対して 2 自由度で動くことができる。ピンを受けるスロットを有するボールを含む能動球面関節等、他のタイプの能動関節も企図される。

【0047】

図 9 を参照すると、能動関節は、前部の 2 つのアクチュエータ 21、22 を手持ち部分 16 のベース 74 に結合する一組の第 2 の能動関節 108 も含む。図示するバージョンでは、第 2 の能動関節 108 は、関節支持体 77、78 で支持されている。第 2 の能動関節 108 のそれぞれは、スイベル軸 (swivel axis) SA を中心に手持ち部分 16 の基部 74 に対して旋回するように配置されたスイベルヨーク (swivel yoke) 110 を含む。各スイベルヨーク 110 は、スイベルヘッド (swivel head) 112 と、スイベルヘッド 112 から延在して関節支持体 77、78 のうちの 1 つにおいてベース 74 に枢動可能に係合する (pivotally engage) ポスト 114 とを有する。ナット 115 が、ポスト 114 の一端にねじ式に接続されて、ベース 74 にポスト 114 を捕捉する一方で、それぞれのスイベルヨーク 110 がそのそれぞれの関節支持体 77、78 内で自由に回転することができるようにする。

【0048】

第 2 の能動関節 108 のそれぞれは、スイベルヨーク 110 のうちの 1 つに枢動可能に結合されたキャリア 116 を備える。キャリア 116 は、更に後述するように、前部の 2 つのアクチュエータ 21、22 の送りねじ 150 を受けるめねじ付き貫通ボア (internally threaded throughbore) 117 を有する。キャリア 116 のそれぞれは、スイベルヨーク 110 内のポケットに着座することによって、キャリア 116 がスイベルヨーク 110 に対してピボット軸 PA (図 9 を参照) を中心に枢動するのを可能にする、対向するトラニオン (trunnion) 118 も備える。いくつかのバージョンでは、第 2 の能動関節 108 のそれぞれについて、スイベル軸 SA は、ピボット軸 PA と交差して、アクチュエータ 21、22 が 2 自由度で動く際の中心である単一の頂点を画定する。

【0049】

カバーが、スイベルヘッド112に締結され、ポケットの一方を画定し、一方で、スイベルヘッド112は、他方のポケットを画定する。組立中、キャリアは、最初に、トラニオンの一方がスイベルヘッド112内のポケットに配置された状態で位置決めされ、次いで、キャリアが、カバーとスイベルヘッド112との間に捕捉され、トラニオン及びポケットを介してスイベルヨーク110に対して枢動することができるように、カバーが他方のトラニオン上に締結される。スイベルヨーク110及び関連するキャリアの構成、すなわち、キャリアがスイベル軸SAを中心に旋回するとともにピボット軸PAを中心に枢動することができることにより、第2の能動関節108は、ベース74に対する前部の2つアクチュエータ21、22の2自由度の動きを可能にする。前部の2つのアクチュエータ21、22とベース74との間の他の関節配置も可能である。

10

【0050】

能動関節はまた、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の能動関節124も含む。図示するバージョンでは、第3の能動関節124は、関節支持体79で支持されている。第3の能動関節124は、ベース74の関節支持体79に固定されたピボットハウジング126を備える。

【0051】

第3の能動関節124は、トラニオンを介してピボットハウジング126に枢動可能に結合されたキャリアを備える。ポケットを有する締結具が、トラニオンと係合するように貫通ボアを介してピボットハウジング126の両側に取り付けられる。締結具は、キャリアが組立後にポケット内に位置しているトラニオンを介して枢動することができるように配置されている。キャリアは、更に後述するように、後部アクチュエータ23の送りねじ150を受けるめねじ付き貫通ボアを有する。ピボットハウジング126及び関連するキャリアの構成、すなわち、関連するキャリアがピボット軸PAを中心としてのみ枢動することができる（例えば、旋回しない）ことにより、第3の能動関節124は、ベース74に対する後部アクチュエータ23の1自由度のみの動きを可能にする。後部アクチュエータ23とベース74との間の他の関節配置も可能である。

20

【0052】

アクチュエータ21、22、23のそれぞれは、ハウジングを備える。ハウジングは、キャニスタと、キャニスタにねじ式に接続されたキャップとを備える。第1の能動関節92の一部を形成するピボットヨーク106は、ハウジング及びピボットヨーク106が第1の能動関節92を介してツール支持体18に対してともに動くことができるように、ハウジングに固定されている。キャップは、ピボットヨーク106の環状肩部を捕捉して、ピボットヨーク106をキャニスタに固定する。

30

【0053】

いくつかのバージョンでは、ピボットヨーク106及びキャニスタは、各ピボットヨーク106をそのそれぞれのキャニスタに予め規定された相対的な向きで位置合せするための1つ以上の位置合せ機構を備える。こうした位置合せ機構は、嵌合部分、キー／キー溝等を含んでもよい。組立中、ピボットヨーク106は、最初に、その予め規定された相対的な向きでキャニスタに固定されてもよく、次いで、キャニスタにキャップを（例えば、嵌合するおねじ及びめねじを介して）ねじ込んで、ピボットヨーク106を予め規定された相対的な向きでキャニスタに捕捉してもよい。この予め規定された関係は、フレックス回路FCを配線又は位置合せする際、キャニスタに対してピボットヨーク106の転がりを防止するため、又は他の目的のために有用である場合がある。

40

【0054】

アクチュエータ21、22、23のそれぞれは、各ハウジング内に配置されたモータも備える。モータは、ハウジング内に配置されたケーシングと、ケーシング内に配置されたモータ巻線アセンブリとを有する。モータ巻線アセンブリはまた、上述したもの等の止めねじ又は他の位置合せ機構等を介して、キャニスタに対して予め規定された、相対的な向きに位置合せしてもよい。各モータは、送りねじ150に固定されたロータも有する。送

50

りねじ 150 は、1 つ以上のブッシング又はベアリングによってハウジング内で回転するように支持されている。ロータ及び関連する送りねじ 150 は、モータの選択的な通電時に、ハウジングに対して回転するように構成されている。送りねじ 150 は、バックドライブを防止するために微細なピッチ及びリード角を有する（すなわち、それらはセルフロック式である）。その結果、ツール 20 にかかる負荷は、容易にモータをバックドライブしない。いくつかの例では、送りねじ 150 は、0.02 インチ（0.508 ミリメートル）／回転～0.03 インチ（0.762 ミリメートル）／回転のリードをもたらし 8 ～ 36 のクラス 3 のねじ山を有する。他のねじ山タイプ又はサイズを採用してもよい。

【0055】

アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれは、別個のモータコントローラによって制御してもよい。モータコントローラは、各アクチュエータ 21、22、23 を所与の目標位置に個別に向けるように、アクチュエータ 21、22、23 にそれぞれ別個に配線してもよい。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、位置、速度及びトルク（電流）に関するカスケード制御ループを含んでもよい。付加的又は代替的に、モータコントローラは、トルク（電流）制御ループのみを含んでもよい。別の例では、位置制御ループは、トルク（電流）制御ループに直接入力してもよい。これらの制御段のそれぞれは、PID コントローラ、状態空間コントローラとして実装してもよく、又は代替的な若しくは追加の制御技法（例えば、速度フィードフォワード、トルクフィードフォワード等）を利用してよい。いくつかの場合では、トルク（電流）制御ループは、フィールド指向制御及び空間ベクトル変調を使用して実装される。制御ループの段は、システムの様々な構成要素の間に分散させることができる。いくつかの例では、位置ループ及び速度ループは、器具コントローラに実装され、トルク制御ループは、器具 14 上の制御ハウジング 29 の一部として制御基板 31 に直接実装され、電流制御ループがコンソール 33 を介するいかなるデータフィードバックも必要としないため、コンソール 33 への接続を介して器具 14 からのデータ通信レイテンシの影響を軽減する。位置制御ループ及び速度制御ループは、通信レイテンシにそれほど影響されやすくないため、コンソール 33 に実装することができる。いくつかの例では、モータコントローラは、器具コントローラ 28 と統合することができ、又は器具コントローラ 28 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、本明細書では、モータコントローラは、器具コントローラ 28 の一部であるものとして記載するものとする。

【0056】

電源は、コンソール 33 を介して、例えば、32 VDC 電力信号をモータに提供する。32 VDC 信号は、器具コントローラ 28 を介してモータに印加される。器具コントローラ 28 は、各モータに電力信号を選択的に提供してモータを選択的に作動させる。このモータの選択的な作動により、ツール 20 が位置決めされる。モータは、ブラシレス DC サーボモータ、永久磁石同期モータ、他の形態の DC モータ等、任意の好適なタイプのモータであってもよい。電源はまた、器具コントローラ 28 に電力を供給して、器具コントローラ 28 の内部の構成要素に通電する。いくつかの例では、アクチュエータモータは、3 相ブラシレスモータであってもよい。アクチュエータモータは、DC モータであってもよい。アクチュエータモータは、永久磁石同期モータであってもよい。アクチュエータモータのそれぞれは、機械的なコギングの制限を達成するように構成された正弦波逆起電力を有するように構成して、トルクリップルを制限して、平滑且つ特定の運動を可能にしてもよい。しかしながら、他のモータタイプも企図される。電源は、例えば、12 VDC、24 VDC、40 VDC 等の他のタイプの電力信号を提供することが理解されるべきである。器具は、電子スイッチ、例えば、MOSFET 又は GaN FET を使用して、3 相モータへの電圧信号を高周波、例えば典型的には少なくとも 16 kHz、最大 256 kHz 又はそれ以上のレートでオン／オフしてパルス幅変調してもよい。

【0057】

1 つのあり得る実施態様では、1 つ以上のセンサ S（図 7 も参照）が、器具コントローラ

10

20

30

40

50

ラ 28 に戻すように信号を送信し、それにより、器具コントローラ 28 は、関連するアクチュエータ 21、22、23 の現時点の位置又は角度（すなわち、測定位置）を決定することができる。これらの信号のレベルは、関連するロータの回転位置の関数として変化してもよい。1 つの実施態様では、（複数の場合もある）センサ S は、所与のターン内のロータの回転位置を高分解能で解像してもよい。これらのセンサ S は、ロータからの、又は送りねじ 150 に配置された他の磁石（例えば、2 極磁石）からの検知された磁界に基づいてアナログ又はデジタル信号を出力する、ホール効果センサであってもよい。ホール効果センサに通電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しているモータに関連するモータコントローラから供給してもよい。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内に配置され、ロータの周囲に互いに 90 度間隔を空けて配置され、器具コントローラ 28 が位置を決定してロータの増分するターンをカウントすることができるように関節位置を検知する。いくつかのバージョンでは、ホール効果センサは、増分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及びセンサ配置が可能である。いくつかの例では、モータはブラシレス D C サーボモータであり、ロータの周囲で互いに 90 度、120 度、又は他の任意の好適な間隔で、2 つ以上の内部ホール効果センサを配置してもよい。センサ S はまた、ロータの回転位置を検出するとともにロータのターンをカウントするために使用してもよい、絶対値エンコーダ又はインクリメンタルエンコーダを含んでもよい。1 つ以上のセンサとして他のタイプのエンコーダを使用してもよい。センサは、ハウジング、ナット、ねじ等、調整される各アクチュエータの位置を決定するのに好適な、アクチュエータ及びその周辺構成要素の任意の好適な位置に配置してもよい。更に別の構成では、センサレスモータ制御を利用してもよい。こうした実施態様では、各ロータの位置は、モータの逆起電力又はインダクタンスを測定することによって決定してもよい。1 つの好適な例は、引用することにより本明細書の一部をなすものとする米国特許第 7, 422, 582 号に見出すことができる。

10

20

30

40

50

【0058】

いくつかの例では、センサ又はエンコーダは、器具 14 の運動学的モデルとともに使用されるとき、関節位置制御のために、又は手持ち部分 16 に対するツール支持体 18 の位置を決定するために、位置フィードバックを測定してもよい。いくつかの例では、センサ又はエンコーダは、マルチターン測定値に依存し、マルチターン測定値は、回転毎に蓄積し、アクチュエータ 21、22、23 の絶対位置をその軸に沿って決定するために使用され、既知のピッチ（すなわち、送りねじのインチあたりの回転数）とともに使用される。付加的又は代替的に、センサ又はエンコーダを使用して、モータの電子整流に使用される「ロータの電気角」を決定してもよい。例えば、センサ又はエンコーダを使用して、ロータ位置を決定し、最適な（効率的な）トルク発生を実現するために適切な通電信号を印加してもよい。この例では、センサ又はエンコーダは、各電気的回転にわたる（1 回の電気的回転内の）シングルターン又はサブターン測定を利用してもよい。電気的回転の数は、機械的回転の数をモータの磁極の数（例えば、磁極対の数）で割った数に等しい。しかしながら、センサレス方法を実施することも企図される。

【0059】

いくつかの例では、ホール効果センサからの出力信号は、器具コントローラ 28 に送信される。器具コントローラ 28 は、受信した信号についてそのレベルの変化をモニタリングする。これらの信号に基づいて、器具コントローラ 28 は、関節位置を決定する。関節位置は、初期位置すなわちホームポジションからのロータの回転度とみなしてもよい。ロータは、複数回の 360 度回転することができる。したがって、関節位置は 360 度を超える可能性がある。カウントと称するスカラ値が、ホームポジションからの関節位置を表す。ロータは時計回り及び反時計回りの両方向に回転する。複数の信号（アナログ又はデジタル）の信号レベルが規定された状態変化を起こすたびに、器具コントローラ 28 は、カウントをインクリメント又はデクリメントして関節位置の変化を示す。ロータが完全に 360 度回転するごとに、器具コントローラ 28 は、カウントの値を固定カウント数だけインクリメント又はデクリメントする。いくつかの例では、カウントは、ロータの 360

度の回転ごとに100～3000だけインクリメント又はデクリメントされる。いくつかの例では、関節位置をモニタリングするためにインクリメンタルエンコーダが使用される場合等には、ロータの360度の回転ごとに1024の位置（カウント）が存在する。器具コントローラ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、インクリメント又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、又は負であり得る。いくつかのバージョンでは、カウンタ値は、ロータの漸増的な動きを規定する。したがって、アクチュエータ21、22、23のロータは、最初に、それらのホームポジションと称する既知の位置（以下に更に説明する）まで移動させてもよく、その後、カウンタ値を使用してロータの現時点の位置を規定してもよい。

10

【0060】

上述したように、キャリアは、送りねじ150をねじ式に受けるめねじ付き貫通ボアを有し、それにより、送りねじ150のそれぞれは、キャリアのうちの対応する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つの有効長を調整し、それにより、器具コントローラ28によって測定されるカウンタを変更することができる。ハウジング及び対応するキャリアのそれぞれは、送りねじ150がキャリアに対して相対的に回転するのを可能にするように、少なくとも1自由度の相対的な動きが制約される。より具体的には、送りねじ150は、以下の理由により、キャリアに対して回転することができる。すなわち、ピボットヨーク106は、関連する能動軸AA1、AA2、AA3を中心に回転することができず（すなわち、ピボットヨーク106は、第1の能動関節92の構成により、こうした回転移動が制限され）、キャリアは、関連する能動軸AA1、AA2、AA3を中心に回転することができない（すなわち、キャリアは、第2の能動関節108及び第3の能動関節124の構成により、こうした回転移動が制限される）からである。

20

【0061】

送りねじ150には、送りねじ150に形成されたねじ付き締結具又は肩部等の止め具152が固定されている。止め具152は、各送りねじ150の移動の終端でキャリア116と当接するようなサイズである。

【0062】

上述したように、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の動きを可能にするように有効長が能動的に調整可能である。この有効長の1つの例は、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、ピボット軸PAから、関連する第1の能動関節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、送りねじ150がその関連するキャリア内には又はキャリアからどの程度まで螺入又は螺出したかを変化させ、それにより関連するキャリアの中心から関連する第1の能動関節92の中心までの距離を変化させることにより、有効長ELが変化する。アクチュエータ21、22、23は、有効長EL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ELは、手持ち部分16に対するツール支持体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のに任意の好適な方法で、表すか又は測定することができる。

30

40

【0063】

制約アセンブリ24は、アクチュエータ21、22、23と協働して、アクチュエータ21、22、23によって提供される動きを制約する。アクチュエータ21、22、23は3自由度の動きを提供し、一方、制約アセンブリ24は3自由度の動きを制約する。図示するバージョンでは、制約アセンブリ24は、受動連結機構26とともに、受動連結機構26をツール支持体18に結合する受動連結関節156を含む。

【0064】

1つのバージョンでは、図9に示すように、受動連結関節156は、受動連結自在継手を含む。自在継手は、第1のピボットピン158と継手ブロック160とを含む。第1の

50

ピボットピン158は、継手ブロック160の貫通ボア164を介して、継手ブロック160をツール支持体80の受動連結取付具162に枢動可能に接続する。止めねじ166が、第1のピボットピン158を受動連結取付具162に固定してもよい。自在継手は、第2のピボットピン170も含む。継手ブロック160は、第2のピボットピン170を受ける十字ボア168を有する。第2のピボットピン170は、受動連結機構26の受動連結ピボットヨーク172を継手ブロック160に枢動可能に接続する。第2のピボットピン170は、第1のピボットピン158、継手ブロック160及び第2のピボットピン170が自在継手の十字を形成するように、第1のピボットピン158を受ける貫通ボア171を有する。第1のピボットピン158及び第2のピボットピン170は、交差するピボット軸PAを画定する。その結果、受動連結機構26は、ツール支持体本体80に対して2自由度で動くことができる。ピンを受けるスロットを有するボールを含む受動連結球面関節等、他のタイプの受動連結関節も企図される。

10

【0065】

受動連結機構26は、受動連結ピボットヨーク172に固定されたシャフト174を備える。受動連結機構26は、制約軸CAに沿ってシャフト174を受けるように構成されている、ベース74のスリーブ76も備える。受動連結機構26は、シャフト174がスリーブ76に対して制約軸CAに沿って軸方向に摺動するのを可能にするように、且つ、アクチュエータ21、22、23のうちの1つ以上の作動中に制約軸CAに対するシャフト174の半径方向の動きを制約するように構成されている。

【0066】

受動連結機構26は、制約軸CAを中心とするスリーブ76に対するシャフト174の回転を制約するキーを更に備える。キーは、シャフト174及びスリーブ76の対向するキー溝に嵌って、シャフト174をスリーブ76に回転しないようにロックする。一体型キー／スロット配置等、シャフト174とスリーブ76との相対的な回転を防止する他の配置も企図される。受動連結機構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及び手持ち部分16を作動的に相互接続する。受動連結機構は、アクチュエータ21、22、23のうちの1つ以上の作動中に、制約軸CAに沿った有効長ELが受動的に調節可能である。スリーブ76、シャフト174及びキー176は、受動連結機構26のためのリンクの1つの組合せを表している。受動連結機構26に対して、任意の好適な方法で接続された他のサイズ、形状及び数のリンクを採用してもよい。

20

30

【0067】

図示するバージョンでは、受動連結関節156は、ツール支持体18に対して2つのピボット軸PAを中心に枢動することができる。他の構成が可能である。

【0068】

また、図示するバージョンでは、第1の能動関節92及び受動連結関節156は、共通の平面上に配置されたピボット軸PAを画定する。非平行ピボット軸PA、異なる平面上に配置された平行ピボット軸PA、それらの組合せ、又は他の構成も企図される。

【0069】

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、共通平面に平行な刃面BP（例えば、刃面）上に位置するように配置される。いくつかの例では、刃面BPは、共通平面CPから2.0インチ（50.8ミリメートル）以下、1.0インチ（25.4ミリメートル）以下、0.8インチ（20.32ミリメートル）以下、又は0.5インチ（12.7ミリメートル）以下だけ間隔が空けられる。

40

【0070】

図示するバージョンでは、アクチュエータ21、22、23は、能動軸AA1、AA2、AA3が、ホームポジションにある場合を含むアクチュエータ21、22、23のすべての位置において、制約軸CAに対して傾斜構成であるように配置されている。軸AA1、AA2、AA3を傾斜させることにより、概して、よりスリムであり且つより小型のベース74及び関連するグリップ72を可能にするように、アクチュエータ配置がテーパ状

50

になる。能動軸 A A 1、A A 2、A A 3 が制約軸 C A に対して傾斜構成にないものを含む、他の構成が企図される。こうした構成は、アクチュエータ軸 A A 1、A A 2、A A 3 がそれらのホームポジションにおいて互いに平行であるものを含んでもよい。

【0071】

アクチュエータ、能動関節及び制約アセンブリのさらなる構成が可能である。記載する制御技法は、言及していない他の機械的構成、特に、1 自由度以上で手持ち部分に対してツール又は鋸刃を制御する構成に適用してもよいことが企図される。いくつかのバージョンでは、制約アセンブリが存在しなくてもよく、器具 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くことができてもよい。例えば、器具は、リニアアクチュエータ、ロータリアクチュエータ、又はそれらの組合せを含んでもよい。器具は、並列又は直列に配置された 2、3、4、5、6 又はそれ以上の異なるアクチュエータを含んでもよい。

10

【0072】

(仮想境界)

器具 14 の動作を制御するように制御システム 60 によって採用されるソフトウェアは、境界生成器 182 (図 7 を参照) を含む。境界生成器 182 は、器具コントローラ 28、ナビゲーションコントローラ 36、又は別個のコントローラ等の他の構成要素に実装してもよい。境界生成器 182 は、器具 14 から遠隔で動作する別個のシステムの一部であってもよい。図 7 を参照すると、境界生成器 182 は、器具 14 の動き又は動作を制約する 1 つ以上の仮想境界 184 を生成するソフトウェアプログラム又はモジュールである。いくつかの例では、境界生成器 182 は、仮想切断ガイド (例えば、仮想鋸切断ガイド) を画定する仮想境界 184 を提供する。仮想境界 184 はまた、後述するような様々な制御領域の輪郭を描くように提供してもよい。仮想境界 184 は、1 次元 (1D)、2 次元 (2D)、3 次元 (3D) であってもよく、点、線、軸、軌跡、平面 (解剖学的構造又は他の境界によって囲まれた無限平面又は平面セグメント)、体積、又は複合的な幾何学的形状を含む他の形状を含んでもよい。仮想境界 184 は、ピクセル、点群、ボクセル、三角メッシュ、他の 2D 又は 3D モデル、それらの組合せ等によって表現してもよい。米国特許公開第 2018/0333207 号及び米国特許第 8,898,043 号は、引用することにより本明細書の一部をなすものとし、それらの特徴のうちの任意のものを使用して、外科処置の計画又は実行を容易にしてもよい。

20

30

【0073】

様々な方法で仮想境界 184 を使用してもよい。例えば、制御システム 60 は、境界の内側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 の或る特定の動きを制御し、境界上に留まる (例えば、点、軌跡又は平面上に留まる) ようにツール 20 の或る特定の動きを制御し、境界に近づくように (誘引境界) 又は境界から反発されるように (反発境界) ツール 20 の或る特定の動きを制御し、又は境界に対する器具 14 の関係 (例えば、空間、速度等) に基づいて器具 14 の或る特定の機能を制御してもよい。仮想境界 184 の他の使用も企図される。

【0074】

いくつかの例では、仮想境界 184 のうちの 1 つは、図 2 に示すように、所望の切断面である。制御システム 60 は、いくつかのバージョンにおいて、最終的にツール 20 を所望の切断面上に維持するように機能する。ツール 20 の位置決めを制御する仮想境界 184 はまた、図 2 に示すように、境界内及び所望の切断面上に留まるように鋸刃を制約するように刃の厚さよりもわずかに大きい厚さを有するもの等、容積境界であってもよい。したがって、所望の切断面は、仮想平面境界、仮想容積境界、又は他の形態の仮想境界によって画定することができる。仮想境界 184 は、仮想オブジェクトと称してもよい。仮想境界 184 は、3D 骨モデル (解剖学的モデル AM が、それらのレジストレーションにより実際の大腿骨 F に仮想的に重ねられていることを示す、図 2 を参照) 等の解剖学的モデル AM に関して画定してもよい。言い換えれば、仮想境界 184 に関連付けられる点、線、軸、軌跡、平面、体積等は、解剖学的モデル AM の (例えば、それがレジストレーショ

40

50

ンされる関連する解剖学的構造の追跡を介する) 追跡が仮想境界 184 の追跡も可能にするように、解剖学的モデル AM の座標系に対して固定される座標系において画定してもよい。

【0075】

解剖学的モデル AM は、仮想境界 184 が解剖学的モデル AM 及び関連する座標系に関連付けられるように、第 1 の患者トラック 54 にレジストレーションされる。仮想境界 184 は、インプラント特有であって、例えば、インプラントのサイズ、形状、体積等に基づいて画定してもよく、又は、患者特有であって、例えば、患者の解剖学的構造に基づいて画定してもよい。仮想境界 184 は、術前、術中、又はそれらの組合せで作成される境界であってもよい。言い換えれば、仮想境界 184 は、外科処置が開始する前、外科処置中(組織除去中を含む)、又はそれらの組合せで画定してもよい。仮想境界 184 は、制御システム 60 が作成するか、他のソース又はシステムから受け取る等、多数の方法で提供してもよい。仮想境界 184 は、検索又は更新のためにメモリに記憶してもよい。

10

【0076】

全膝関節インプラント IM (図 1 を参照) を受ける大腿骨 F を準備するとき等のいくつかの場合、仮想境界 184 は、全膝関節インプラント IM のための複数の切断面(例えば、5 つの切断面)の輪郭を描くために使用することができる複数の平面境界を含み、大腿骨 F の遠位端の 3D モデルと関連付けられる。これらの複数の仮想境界 184 を制御システム 60 が一度に 1 つだけ作動させて、一度に 1 つの平面に切断を制約することができる。

20

【0077】

器具コントローラ 28 又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。1 つの例では、TCP 座標系の状態(例えば、鋸刃の姿勢)は、ツール 20 が所望の状態であり続けるようにアクチュエータ 21、22、23 の目標位置を決定する目的で、仮想境界 184 に対して相対的に測定される。いくつかの場合では、制御システム 60 は、物理的な境界が存在するときに物理的なハンドピースが反応する方法を模倣する様式で、器具 14 を制御する。

【0078】

図 7 に戻ると、2 つの追加のソフトウェアプログラム又はモジュールが、器具コントローラ 28 又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は、挙動制御部 186 を実行する。挙動制御部 186 は、ツール 20 に対して次の指令位置又は向き(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。いくつかの場合では、TCP の所望の位置のみが挙動制御部 186 から出力され、いくつかの場合では、ツール 20 の指令姿勢(commanded pose)が出力される。境界生成器 182 からの出力(例えば、座標系のうちの 1 つ以上における仮想境界 184 の現時点の位置又は向き)は、アクチュエータ 21、22、23 の次の指令位置又はツール 20 に対する向きを決定するために、挙動制御部 186 への入力として供給してもよい。挙動制御部 186 は、この入力を、更に後述する 1 つ以上の他の入力とともに処理して、指令姿勢を決定してもよい。

30

【0079】

器具コントローラ 28 は、各アクチュエータ 21、22、23 にコマンド信号を送信して、ツール 20 を所望の姿勢に向かって調整することにより、1 つ以上のアクチュエータ 21、22、23 を制御してもよい。器具コントローラ 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 を調整してもよい全長を知っている。いくつかの例では、器具コントローラ 28 は、アクチュエータ 21、22、23 が調整することができる全長を知っており、位置間の測定距離を動くようにアクチュエータ 21、22、23 にコマンド信号を送信してもよい。測定位置は、既知の位置であってもよく、アクチュエータ 21、22、23 の現時点の位置とアクチュエータ制限との間の距離であってもよい。アクチュエータ 21、22、23 が動いていく各位置は、アクチュエータ移動の正の制限及び負の制限からの測定距離(すなわち、送りねじの両端間の位置

40

50

）であってもよい。器具コントローラ 28 は、アクチュエータ 21、22、23 を後述するような測定位置まで及び測定位置から動くように指令してもよい。

【0080】

器具コントローラ 28 は、各アクチュエータ 21、22、23 にコマンド信号を送信して、アクチュエータ 21、22、23 を第 1 の位置から、ツール 20 を所望の姿勢にする指令位置まで動かしてもよい。いくつかの例では、器具コントローラ 28 によりナビゲーションシステム 32 とともに指令位置を決定して、ツール 20 及びツール支持体 18 の、手持ち部分 16、患者トラッカ PT、54、56、所望の切断面等の仮想オブジェクト、又はそれらの組合せに対する位置を決定し、ツール 20 を所望の姿勢にするために或る一定の距離又は指令位置を調整するようにアクチュエータ 21、22、23 に信号を送信してもよい。器具コントローラは、ツール 20 の所望の調整に到達するために、アクチュエータ 21、22、23 をある位置まで動くように指令してもよい。器具コントローラ 28 は、ツール 20 を所望の姿勢に向かって調整するように、計算された距離を直線的に動くようにアクチュエータ 21、22、23 を制御してもよい。絶対値エンコーダが使用される場合等、他の例では、器具コントローラは、絶対値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、各アクチュエータ 21、22、23 を指令位置に配置するようにアクチュエータ 21、22、23 に信号を送信してもよい。

10

【0081】

器具コントローラ 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 を調整してもよい全長を知っていてもよい。いくつかの例では、器具コントローラ 28 は、アクチュエータ 21、22、23 が調整することができる全長を知っており、位置間の測定距離を移動するように（例えば、指令回転を介して所望の量の直線移動を指令することにより）アクチュエータ 21、22、23 にコマンド信号を送信してもよい。測定位置は、既知の位置であってもよく、又は、アクチュエータ 21、22、23 の現時点の位置とアクチュエータ制限との間の距離であってもよい。アクチュエータ 21、22、23 が動いていく各位置は、アクチュエータ移動の正の制限及び負の制限からの測定距離（すなわち、送りねじの両端間の位置）であってもよい。器具コントローラ 28 は、アクチュエータ 21、22、23 を後述するような位置まで及び位置から動くように指令してもよい。器具コントローラは、ツール 20 の所望の調整に到達するために、アクチュエータ 21、22、23 を或る位置まで動くように指令してもよい。器具コントローラ 28 は、ツール 20 を所望の姿勢に向かって調整するように、計算された距離を直線的に動くようにアクチュエータ 21、22、23 を制御してもよい。絶対値エンコーダが使用される場合等、他の例では、器具コントローラは、絶対値エンコーダによって決定されるそれぞれのアクチュエータ移動制限の間のアクチュエータ 21、22、23 の既知の位置に基づいて、各アクチュエータ 21、22、23 を指令位置に配置するようにアクチュエータ 21、22、23 に信号を送信してもよい。代替的に、1つの例では、引用することにより本明細書の一部をなすものとする米国特許公開第 2017/0156799 号に記載されているように、システムセットアップ中に実行される原点復帰手順と組み合わせてインクリメンタルエンコーダを使用してもよい。原点復帰手順を使用して、アクチュエータ 21、22、23 及び関節をそれらの中心合せされた位置に配置してもよく、原点復帰手順は、その後、インクリメンタルエンコーダの絶対値オフセットを決定する。インクリメンタルエンコーダのオフセットを決定することにより、インクリメンタルエンコーダは、前進する絶対値エンコーダとして機能することができる。

20

30

40

【0082】

いくつかの例では、原点復帰位置が使用される場合、原点復帰プロセスは、アクチュエータ 21、22、23 の初期ロータ位置（ゼロ位置）を確立する。ホームポジションは、事実上、能動軸 AA1、AA2、AA3 に沿った各方向におけるあり得る最大の移動を提供するロータ 148 の位置である。いくつかの例では、ホームポジションは、概して、止め具 152 の中間に中心合せして配置された送りねじ 150 の原点 HP が、関連するキャ

50

リア 1 1 6 に中心合せして配置されるように位置している。絶対値エンコーダによる等、原点復帰手順が使用されない場合でも、他のモード（更に後述するアプローチモード等）の実行前又は実行後にアクチュエータ 2 1、2 2、2 3 を原点 H P に設定することを含んでもよい。器具コントローラ 2 8 は、アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 の有効長 E L の最小値と最大値との間でアクチュエータ 2 1、2 2、2 3 をそれらのホームポジションに戻るように制御するように構成してもよい。

【0083】

ホームポジションにあるとき、アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 の調節可能性の量は、ツール 2 0 を所望の姿勢で維持するために最大化される。器具 1 4 の特定の幾何学的形状及び構成に応じて、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 2 1、2 2、2 3 がそれらのホームポジションにあるとき、ロールの向きの変化がゼロであるとともに z 軸並進がないと想定して、ツール 2 0 に対して、ホームポジションに対して約±18度ピッチの向きを調整してもよい。いくつかの例では、すべてのアクチュエータ 2 1、2 2、2 3 がそれらのホームポジションにあるとき、ピッチの向きの変化がゼロであるとともに z 軸並進がないと想定して、ツール 2 0 に対して、ホームポジションに対して約±33度ロールの向きを調整してもよい。いくつかの例では、すべてのアクチュエータ 2 1、2 2、2 3 がそれらのホームポジションにあるとき、ピッチの向き及びロールの向きの変化がゼロである想定して、ツール 2 0 に対して、ホームポジションに対して約±0.37インチ（9.398ミリメートル）z 軸並進を調整してもよい。当然ながら、ツール 2 0 は、動作中に、ピッチ、ロール、及び z 軸並進を同時に、逐次、又はそれらの組合せで調整してもよい。或る特定の場合では、ホームポジションは、ツール支持体がホームポジションにあることも指す。ツール支持体がホームポジションにあるとき、アクチュエータアセンブリの各アクチュエータもそれらのホームポジションにあり、すなわち、アクチュエータのそれぞれの調整可能性は、すべての自由度において最大の動きを提供するために最大化される。

【0084】

いくつかの例では、アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 のうちの 1 つ以上がその機械的限界又はソフトウェアによって課せられる限界に達したとき、器具コントローラ 2 8 は、アクチュエータがツール 2 0 を所望の姿勢に向かって調整することができる範囲にツール 2 0 を戻すために、手持ち部分 1 6 が調整されるよう要求してもよい。こうした場合、ツール 2 0 及びアクチュエータ 2 1、2 2、2 3 を所望の姿勢と再度位置合せされるために手持ち部分 1 6 をいかに動かすべきかをユーザに示すために、シミュレートされた指令位置を使用してもよい。シミュレートされた指令位置は、アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 を調整することなくツール 2 0 を所望の姿勢に向かって調整するために手持ち部分 1 6 を動かさなければならない、ナビゲーションシステム 3 2 からのナビゲーションデータと関連して器具コントローラ 2 8 が決定する位置であってもよい。シミュレートされた指令位置は、1 つ以上のディスプレイ 3 8 と協働して、ツール 2 0 を所望の姿勢にするために手持ち部分 1 6 を特定の方法で動かす必要があることをユーザに通知する。本明細書に記載する視覚インジケータを使用して、アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 がツール 2 0 を調節しているかのように同じ様式で、手持ち部分 1 6 を動かすようにユーザに通知してもよいが、アクチュエータが適所にあり続ける間に手持ち部分 1 6 を操作することにより、ツール 2 0 の姿勢を修正することはユーザに頼る。

【0085】

第 2 のソフトウェアモジュールは、運動制御部 1 8 8 を実行する。運動制御部 1 8 8 の 1 つの態様は、器具 1 4 の制御である。運動制御部 1 8 8 は、挙動制御部 1 8 6 から次の指令姿勢を定義するデータを受け取る。これらのデータに基づいて、動作制御部 1 8 8 は、器具 1 4 が、挙動制御部 1 8 6 が指令するように、例えば、指令姿勢で、ツール 2 0 を位置決めすることができるように、（例えば、逆運動学によって）各アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 のロータ 1 4 8 の次のロータ位置を決定する。言い換えれば、運動制御部 1 8 8 は、デカルト空間で定義してもよい指令姿勢を処理して、器具 1 4 のアクチュエータ

位置（ロータ位置等）にし、それにより、器具コントローラ 28 は、それに応じてモータ 142 に指令して、器具 14 のアクチュエータ 21、22、23 を、ツール 20 の指令姿勢に対応する指令ロータ位置等、指令位置まで動かすことができる。1つのバージョンでは、動作制御部 188 は、各モータ 142 のロータ位置を調節し、モータ 142 が関連するアクチュエータ 21、22、23 を指令ロータ位置まで駆動するのを可能な限り厳密に確実にするように、各モータ 142 が出力するトルクを連続的に調整する。デカルト空間で定義されるこの生成された指令姿勢を使用して、後述するように視覚インジケータを制御してもよい。

【0086】

いくつかのバージョンでは、器具コントローラ 28 は、各アクチュエータ 21、22、23 に対して、ロータ 148 の測定位置と指令位置との差を決定する。器具コントローラ 28 は、（ロータのトルクに比例する）目標電流を出力し、電圧を変化させてアクチュエータにおける電流を初期電流から目標電流に調整する。目標電流は、アクチュエータ 21、22、23 の動きを実現し、ツール 20 を測定姿勢（measured pose）から指令姿勢まで動かす。これは、指令姿勢が関節位置に変換された後に発生してもよい。1つの例では、各ロータ 148 の測定位置は、エンコーダ等、上述したセンサ S から導出してもよい。

【0087】

境界生成器 182、挙動制御部 186 及び運動制御部 188 は、ソフトウェアプログラムのサブセットであってもよい。代替的に、それぞれ、それらの任意の組合せで個別に又は独立して動作するソフトウェアプログラムであってもよい。本明細書において、「ソフトウェアプログラム」という用語は、記載する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命令を説明のために使用する。簡単のために、「ソフトウェアプログラム」という用語は、少なくとも、境界生成器 182、挙動制御部 186 又は運動制御部 188 のうちの任意の 1つ以上を包含するように意図されている。ソフトウェアプログラムは、器具コントローラ 28、ナビゲーションコントローラ 36 又はそれらの任意の組合せに実装することができ、又は制御システム 60 によって任意の好適な方法で実装してもよい。

【0088】

ユーザとのインタラクションを処理するために、臨床アプリケーション 190 を設けてもよい。臨床アプリケーション 190 は、ユーザインタラクションの多くの態様を処理し、術前計画、インプラント配置、レジストレーション、骨準備の可視化、及びインプラント適合の術後評価等を含む、手術ワ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してもよく、又は、器具コントローラ 28 若しくはナビゲーションコントローラ 36 と並行して実行してもよい。1つの例では、臨床アプリケーション 190 は、ユーザによってインプラント配置が設定された後に境界生成器 182 とインタフェースし、その後、境界生成器 182 によって返された仮想境界 184 を実行のために器具コントローラ 28 に送信する。

【0089】

ベース座標系 BCS の初期位置は、アクチュエータ 21、22、23 がそれらのホームポジション又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 が調整されるときに変化し、関連する変化は、ロボットシステム 10 の（例えば、これらの座標系間の動的変換を確立する）運動学に基づいて決定することができる。代替的又は付加的に、ツール支持体座標系 TCS に対するベース座標系 BCS の姿勢を直接追跡するために、ベース座標系 BCS に対して別のトラッカを取り付けて固定することができる。したがって、ロボットシステム 10 は、ホームポジション等のツール 20 の位置と、手持ち部分 16 の姿勢との関係とを知っている。したがって、ユーザがツール 20 を動かし、その姿勢がツールトラッカ 52 を用いて追跡されるとき、ロ

10

20

30

40

50

ロボットシステム 10 は、手持ち部分 16 の姿勢及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 の位置は既知であると想定される。

【0090】

いくつかのバージョンでは、ホームポジションは、最初に、手持ち部分 16 に固定された別個のトラックを採用することによって、共通座標系におけるツール支持体 18 に対する（例えば、ツール支持体座標系 TCS に対する）手持ち部分 16 の（例えば、ベース座標系 BCS の）姿勢を決定することによって、決定される。手持ち部分 16 とツール支持体 18 との間のこの空間的關係は、ポイント 57 と手持ち部分 16 上の既知の較正ディボットとを用いるレジストレーションによって、又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。次いで、器具 14 の運動学に基づいてこの空間的關係から、アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれの現時点のロータ位置を導出することができる。器具コントローラ 28 は、現時点のロータ位置を知り、エンコーダ（及び対応するエンコーダ信号）を使用して現時点のロータ位置からの変化を測定することにより、その後、アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれを、それらのホームポジションに到達するまで動作させることができる。ホームポジションは、器具コントローラ 28 のメモリに記憶することができる。

10

【0091】

本質的に、器具コントローラ 28 は、ナビゲーションシステムシステム 32 によって、器具 14 上のツール支持体 18 及び手持ち部分 16 に結合されたトラック 52 から得られた追跡データを使用して、アクチュエータ 21、22、23 の位置を決定し、それにより、その後、インクリメンタルエンコーダは絶対値エンコーダとして動作することができる。

20

【0092】

例えば、器具コントローラ 28 のコンソール 33 又は別の構成要素から等、指示データパケットが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は、モータ 142 のロータ 148 の目標位置（又はアクチュエータの目標位置）を含む。ここで、各目標位置は、関連するロータ 148 の目標累積カウントを表す正又は負の数であってもよい。器具コントローラ 28 のコンソール 33 又は他の構成要素は、0.05 ミリ秒～4 ミリ秒ごとに 1 パケットのレートで、これらの指示データパケットを生成して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 ミリ秒ごとに 1 回、指示データパケットを受信する。

30

【0093】

使用中、ロボットシステム 10 は、ツールトラック 52 がツール支持体 18 上に位置していることにより、ナビゲーションシステム 32 でツール 20 の姿勢（現時点の姿勢）を決定する。器具コントローラ 28 はまた、アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれに位置する 1 つ以上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 のそれぞれの現時点の位置を決定してもよい。器具コントローラ 28 は、アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれの現時点の位置が受信されると、手持ち部分 16 の現時点の姿勢（例えば、アクチュエータ位置から姿勢に変換するために順運動学を用いる TCP 座標系（BCS に対する TCP）等、所望の座標系に対するベース座標系 BCS の現時点の姿勢）を計算してもよい。器具コントローラ 28 が所望の座標系におけるツール支持体 18 及び手持ち部分 16 の現時点の相対姿勢を有すると、器具コントローラ 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 の現時点の姿勢、アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれの現時点の位置によって計算される手持ち部分 16 の現時点の姿勢に基づくとともに、計画された仮想オブジェクト、すなわち所望の切断面としての対象の位置又は向きに基づき、ツール 20 の指令姿勢を決定してもよい。器具は、TCP が所望の平面上にあるか又は計画された仮想オブジェクトと位置合せされる結果となる、BCS に対する TCP の姿勢（指令姿勢）を計算する。器具コントローラ 28 は、指令位置まで動くようにアクチュエータ 21、22、23 にコマンド命令を送信し

40

50

、それによりツール支持体 18 及びツール 20 の姿勢を変更してもよい。1 つの例では、ツール 20 の指令姿勢は目標切断面に更に基づき、そのため、器具コントローラ 28 は、手持ち部分 16 の現時点の姿勢を決定するために、ツール支持体 18 の現時点の姿勢とアクチュエータ 21、22、23 の現時点の位置とを計算する。ツール支持体 18 の現時点の姿勢、アクチュエータ 21、22、23 の現時点の位置、及び手持ち部分 16 の現時点の姿勢が分かると、器具コントローラ 28 は、所望の平面に基づいてツール支持体 18 及びツール 20 を調整するためにアクチュエータ 21、22、23 にコマンド信号を送信することができる。コントローラは、(1 回の反復の間) 瞬間的に、手持ち部分の姿勢 (BCS) が患者の解剖学的構造に対して静止していると想定して、指令姿勢を計算する。対応する姿勢を毎回更新することにより、BCS の実際の動きが調整される。

10

【0094】

図 10 を参照すると、様々な変換に関して例示的な制御が記載されている。TCP は、C におけるツールトラック 52 (C-TT) を用いてツール 20 を追跡し、レジストレーションデータを用いてツールトラック 52 と鋸等のツール 20 の TCP の間の変換 (TT-TCP) を決定することによって決定される。同様に、C における患者トラック PT (54 として示す) (LC LZ-PT) を用いて、患者を追跡する。患者トラック PT と各計画された仮想オブジェクト (TP) との間の変換 (PT-TP) が、レジストレーションデータ及び計画情報を用いて決定される。上述したように、BCS と TCP との間の変換 (BCS-TCP) は、(上述した) 各アクチュエータの現時点の位置に基づいて計算される。BCS に対して指令姿勢を決定してもよい。BCS と TCP との間の変換は、様々な座標系を手持ち部分 16 に再び関連付けるために利用される。概念的に、指令姿勢は、この例では、TCP が、1 つ以上の仮想境界 184 を含んでもよい計画された仮想オブジェクト (目標平面 TP) と位置合せされる結果となる、BCS から TCP への変換に対する更新である。

20

【0095】

「器具の TCP」という言い回しは、「鋸刃の位置」という言い回しと同義に使用されていることが理解されるべきである。したがって、器具／ツールの TCP が使用されるいかなる場合においても、それは鋸刃の位置と置き換えてもよく、その逆もまた可能である。当然ながら、「鋸刃」の位置は、代替的に、ドリル、バー、ガイドチューブ、ピン等、任意の好適な構成のツールの位置であってもよいことも企図される。

30

【0096】

本明細書を通して、別段の断りのない限り、姿勢のいずれの場合も、指令姿勢、現時点の姿勢、過去の姿勢、又は過去の指令姿勢であってもよい。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、制御の頻度に起因して、これらの姿勢間の位置又は向きの差は各制御反復において最小であり得る。

【0097】

オブジェクトの位置及び向きの組合せは、オブジェクトの姿勢と称されることが理解されるべきである。本明細書を通して、本明細書に記載する概念の好適な代替形態を達成するために、姿勢という用語を位置又は向きに置き換えてもよく、その逆もまた企図されている。言い換えれば、姿勢という用語のいかなる使用も、位置と置き換えることができ、位置という用語のいかなる使用も、姿勢と置き換えてもよい。

40

【0098】

(動作)

動作中、ロボットシステム 10 は、最初に電源が投入され、システムを動作させるソフトウェアアプリケーションが起動する。トラック 52、54、56、PT は初期化され、トラック 52、54、56 は、器具 14 上及び標的解剖学的構造 (例えば、大腿骨 F 及び脛骨 T) 上に配置される。患者トラック 54、56 が解剖学的構造に取り付けられた状態で、解剖学的構造又は関連する画像／モデルが、既知のレジストレーション技法を使用して、患者トラック 54、56 にレジストレーションされる。これには、ユーザがポインタ 57 で解剖学的構造上の或る特定の表面又はランドマークに触れることが必要である場合

50

がある。例えば、これには、ユーザが、ポインタ 57 の選択ボタンを押すか、又はナビゲーションシステム 32 のフットスイッチを押しながら、解剖学的構造の表面のいくつかの点に触れることが必要である場合がある。これにより、解剖学的構造の術前又は術中画像／モデルと照合するために、ナビゲーションシステム 32 において表面上に点が「描かれる」。解剖学的構造の術前画像又は術中画像／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る部分は、術前又は術中画像／モデルにレジストレーションされる。さらには、これにより、ロボットシステム 10 は、解剖学的構造が動くのに伴って、ディスプレイ 38 上に解剖学的構造の実際の位置及び向きのグラフィカルな表現を提示することができる。

【0099】

較正手順では、ツールトラッカ 52 の向き及び位置は、較正ディボット CD 又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 に対して較正される。いくつかの例では、1 つ以上のツールトラッカ 52 がツール支持体 18、手持ち部分 16 又は両方に位置してもよく、それにより、ツール支持体 18 又は手持ち部分 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。ツールトラッカ 52 が器具 14 に統合されている例では、ツールトラッカ 52 のツール支持体 18 に対する相対位置が既知であるため、こうした較正は不要である。

【0100】

器具 14 の動作を制御するために使用されている仮想オブジェクト（例えば、仮想境界 184）も定義される。器具コントローラ 28 上で実行しているソフトウェア（例えば、境界生成器 182）は、仮想オブジェクトの初期定義を生成する。ユーザは、必要に応じて仮想オブジェクトの配置を調整することができ、そうしたオプションを有していてもよい。

【0101】

1 つの例示的な構成では、制御システム 60 は、標的部位又は解剖学的構造から予め規定された距離又は位置に様々な領域を画定する。これらの領域のそれぞれは、解剖学的構造又は仮想境界 184 に関連する座標系において画定してもよい。いくつかの場合では、これらの領域は、標的部位又は解剖学的構造に関する球体又は他の幾何学的プリミティブとして画定される。他の例では、領域（及び後述する他のもの）は、器具 14、ツール支持体 18、手持ち部分 16、ツール 20、標的又はそれらの組合せに関して画定してもよい。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、標的又はそれらの組合せによって画定される領域が特定の仮想境界に近づいたときに、器具 14 を制御してもよい。

【0102】

特に、器具コントローラ 28 は、ツール 20 を所望の姿勢で維持するために、モータ 142 と一体化したロータ 148 が回転しなければならない一組の目標ロータ位置を生成する。言い換えれば、ユーザが、ツール 20 をその所望の姿勢から遠ざけるように手持ち部分 16 を動かした場合、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ตอบสนองして、器具コントローラ 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くらい離れたかを決定し、ツール 20 を所望の姿勢に戻すために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、こうした動きを補償する。器具コントローラ 28 は、所望の姿勢からのこうしたずれを実質的にリアルタイムで連続的に考慮するように高い周波数（例えば、フレームレート）で動作していることになるため、こうしたずれは通常小さくなることが理解されるべきである。

【0103】

目標ロータ位置は、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）との関係に基づいて決定される。例えば、所望の姿勢に対して、手持ち部分 16 に対する z 軸並進が必要である場合、ツール 20 が z 軸において動く程度と各ロータ 148 の回転の量（例えば、こうした z 軸移動に関連するカウント数）との間には

10

20

30

40

50

一次関係がある。第3のアクチュエータ23が、単独で作動するか、又は第1のアクチュエータ21及び第2のアクチュエータ22のうち的一方若しくは両方と組み合わせて作動することに応答して、ツール20がそのピッチの向きを変化させる程度の間の関係も存在する。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のアクチュエータ21及び第2のアクチュエータ22の一方又は両方の作動に応答して、ツール20がそのロールの向きを変化させる程度の間の関係が存在する。これらの関係に基づいて、器具コントローラ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ロータ148の目標ロータ位置を決定する。器具コントローラ28は、これらの目標ロータ位置に基づいて、モータ142を動作させる。例えば、コンソール33は、これらの目標ロータ位置を含むパケットをモータコントローラに送信してもよく、各モータコントローラは、適切な通電信号を関連するモータ142に印加してもよい。これらの通電信号により、ロータ148の回転が引き起こされ、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を変位させる送りねじ150の再位置決めがもたらされる。

10

【0104】

上述したように、ユーザが手持ち部分16を所望の平面に向けて配置する際に、アクチュエータ21、22、23は、ホームポジション又は他の所定の位置に保持される。アクチュエータ21、22、23をそれらのホームポジション又は他の所定の位置に維持することにより、ユーザは、所望の平面及び標的に対する器具の姿勢でツール20を調整して並べることがより容易であると感じる可能性がある。しかしながら、ツールが所望の姿勢にあるとき、視覚インジケータは、アクチュエータ21、22、23をそれらのホームポジション又は他の所定の位置の近くで維持することにより、器具14に十分な調整可能性を与えるために手持ち部分16をいかに動かすかについて、ユーザを誘導するように意図されている。例えば、ユーザは、ツール20を所望の姿勢で維持しながら、すべてのアクチュエータ21、22、23をそれらのホームポジションに近づけるために、手持ち部分16をz軸方向において上方に動かす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、ほぼ完全に伸展する場合がある。これを実現するために、視覚インジケータからの方向指示は上向きである。この場合、視覚インジケータは、実際には、アクチュエータ21、22、23の調整可能性を最大にするために、アクチュエータ21、22、23がそのホームポジションに向かって動作するように、手持ち部分16を上方に動かすようにユーザを誘導している。ユーザが手持ち部分16を上方に動かすと、アクチュエータ21、22、23は、ツール20を所望の姿勢で（例えば、仮想境界184上で）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、ホームポジションに向かって後退する等、後退する。理想的には、ユーザが骨の切断を開始したとき、各アクチュエータ21、22、23について、いずれの方向においても最大の移動量が利用可能である。そうでない場合、アクチュエータ21、22、23のうちの1つ以上が、いずれの方向においても利用可能な移動量にほぼ達している場合、手持ち部分16のわずかな動きであっても、器具コントローラ28がツール20を所望の姿勢に維持することができず、不正確な切断がなされる可能性がある。

20

30

【0105】

付加的又は代替的に、いくつかのバージョンでは、ツール20は、所望の姿勢まで動いてもよく、その後、ユーザは、ツール20がその所望の位置に維持されている間に切断を実施するために、アクチュエータ21、22、23の利用可能な移動量の閾値内でより快適な位置に手持ち部分16を調整してもよい。次いで、ユーザは、ボタン又はフットスイッチ等の入力デバイスを作動させるか、又はタッチスクリーン上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の姿勢がその現時点の空間関係で保持又は固定されるフリーハンドモードに移行することを選択してもよい。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の仮想閾値を変化させ、ユーザが動作モードを選択すると保持された姿勢を維持することにより、アクチュエータの動きを抑制することが企図される。

40

50

【0106】

(視覚的誘導)

図8に示すように、ロボットシステム10は、視覚インジケータ201も含む。他の例示的な視覚インジケータを、図21～図24、図26～図42Cに示す。視覚インジケータは、ユーザの選好に応じて異なるように構成してもよい。1つの構成において、図8を参照すると、視覚インジケータは、器具に結合してもよい。より詳細には、視覚インジケータは、ツール支持体、手持ち部分又はそれらの組合せに結合してもよい。代替的に、図1を参照すると、視覚インジケータは、UI上等、器具とは別に位置決めしてもよい。例えば、視覚インジケータは、外科医が見やすいように手術室に位置決めされた表示画面の形態をとってもよい。より詳細には、視覚インジケータは、ナビゲーションカートに結合された表示画面の形態であってもよい。システムの(複数の場合もある)コントローラに対する視覚インジケータの位置に応じて、視覚インジケータは、送信器ユニットに結合してもよい。送信器ユニットは、処理部及び電源を含むことができる。理解されるべきであるように、上記構成要素のうちの任意ものを、1つ以上の別個のデバイス又は場所に分散させてもよい。送信器ユニットは、送信器ユニットとディスプレイの視覚インジケータとの間に有線又は無線の電気接続を確立するように、視覚インジケータに電氣的に結合してもよい。

10

【0107】

視覚インジケータの使用により、1自由度以上における可動域の限界が満たされた姿勢を回避する等、外科処置の中断に繋がる可能性がある姿勢を回避することにより、設計に更なるロバストネスを提供することができる。これは、制御システムが、駆動モータへのオーバーライドが必要であるか否かを判断するように構成されてもよい、という事実による。

20

【0108】

制御システム60は、TCPを目標姿勢まで動かすための各アクチュエータに対する指令位置又は指令関節角度を決定すると、複数のアクチュエータ又はツール支持体の1つ以上の位置に基づいて駆動モータMの作動を制御してもよい。1つ以上のアクチュエータの位置は、少なくとも1つのアクチュエータの指令関節位置、少なくとも1つのアクチュエータの測定位置、少なくとも1つのアクチュエータの以前の指令位置、少なくとも1つのアクチュエータの以前の測定位置、又はそれらの組合せに基づいてもよい。1つの例では、駆動モータMは、アクチュエータ21、22、23のうちの少なくとも1つの指令位置に基づいて制御される。少なくとも1つのアクチュエータ21、22、23の指令関節位置は、少なくとも1つのアクチュエータ21、22、23のアクチュエータモータオーバーライド制限値と比較される。モータオーバーライド制限値は、或る範囲の外側境界線を定義する1つの値、又は一連の値であってもよい。この例では、1つのアクチュエータのモニタリングを論証しているが、制御システムは、各アクチュエータ21、22、23の指令位置とアクチュエータモータオーバーライド制限値とをモニタリングしてもよい。アクチュエータモータオーバーライド制限値の上限及び下限は、各アクチュエータの動作範囲に対するアクチュエータの位置に対応する値であってもよい。上限は、駆動モータパラメータが調整される前の、第1の方向において許容される最大移動量に対応してもよく、下限は、駆動モータパラメータが調整される前の、第2の反対方向において許容される最大移動量に対応してもよい。より具体的には、制御システム60は、指令関節位置がアクチュエータ位置をモータオーバーライド制限値の上限と下限の間に維持するか否かに基づいて、駆動モータMのモータパラメータを第1の値及び第2の値で制御する。制御システム60は、駆動モータMの1つ以上のモータパラメータを制御してもよく、1つ以上のモータパラメータは、速度、トルク、動作時間、電流又はそれらの組合せであってもよい。1つの例では、制御システム60によって制御されるモータパラメータは、モータ速度であり、第1の値はゼロであり(駆動モータMはオフであり)、第2の値はゼロよりも大きい(駆動モータMはオンである)。制御システム60は、アクチュエータ21、22、23の指令位置に基づいて、モータパラメータを第1の値と第2の値との間で切り替える。アクチュエ

30

40

50

ータ 21、22、23 の指令位置により、アクチュエータがモータオーバライド制限値の上限及び下限内になるとき、制御システム 60 は、駆動モータパラメータの第 2 の値を指令して、駆動モータ M を作動させるか又は通電を継続させることを可能にしてもよい。指令アクチュエータ位置がモータオーバライド制限値の下限と上限の間にある場合、関節速度コマンドのオーバライドは変更されない。

【0109】

いくつかの例では、駆動モータオーバライドは、受信したアクチュエータ位置（P）データに基づいて評価されるルックアップテーブル又は関数として実装してもよい。関節位置速度オーバライドの例では、これにより、関節位置がそのモータオーバライド制限値に近づくとき、駆動モータの速度が比例して低下する。いくつかの例では、アクチュエータ位置が下限及び上限モータオーバライド制限値内にあるときは、変更はなくてもよい。他の例では、アクチュエータ 21、22、23 のうちの 1 つ以上が 80 % 移動量範囲～95 % 移動量範囲の位置にあるとき、駆動モータ M 速度は比例して低下してもよく、95 % を超える移動量で完全に無効にしてもよく、これにより、ツール 20 が動作限界（下限及び上限モータオーバライド閾値）に近づいているという連続的且つ段階的なフィードバックをユーザに提供してもよい。こうした実施態様では、複数の下限モータオーバライド閾値と複数の上限モータオーバライド閾値とがあってもよく、各閾値はモータパラメータ（モータ速度等）に対応する。いくつかの場合では、駆動モータ M 速度は完全にゼロまで低下せず、むしろ一定の低速度まで低下してもよく、それにより、外科医に警告することができるが、外科医の裁量で進めるか否かについての判断が可能となる。アクチュエータ 21、22、23 の指令位置により、アクチュエータがモータオーバライド制限値の上限及び下限の外になると、制御システム 60 は、駆動モータパラメータの第 1 の値を指令し、駆動モータ M が作動するか又は通電が継続するのを阻止してもよい。各アクチュエータに対するモータオーバライド制限値は、上述した各アクチュエータの関節閾値と異なってもよい。例えば、モータオーバライド制限値は、関節閾値として定義された範囲よりも狭い範囲を定義してもよく、モータオーバライド制限値の範囲は、全体的に関節閾値の範囲内であってもよい。この視覚インジケータを利用することにより、ユーザは、各アクチュエータに起因するモータオーバライド制限値の上限及び下限をより容易に回避し、駆動モータの停止によって引き起こされる中断を最小限にすることができる。

【0110】

目標平面等の所望の場所にツールを配置するように複数のアクチュエータを制御するために、限定されないが、インピーダンス制御、アドミタンス制御、位置制御、又は複数の異なる制御実施態様を使用するハイブリッド制御を含む、異なる制御方法を使用してもよい。アドミタンス制御実施態様を詳細に記載するが、他の方法を使用してもよいことは理解されるべきである。アドミタンス制御モードでは、制御システムは、（仮想又は測定された）力入力を受け入れ、位置（又は運動）出力を指令する。例えば、アドミタンス制御の場合、システムは、仮想質量上の特定の位置における力又はトルクをモデル化し、ツールの所望の目標状態を達成するように仮想質量の姿勢を変更するように作用する。インピーダンス制御モードでは、制御システムは、位置（又は運動）入力を受け入れ、力又はトルク出力を指令する。例えば、インピーダンス制御システムは、器具の位置（すなわち、位置、向き、速度又は加速度）を測定し、検知し、又は計算し、ツールの所望の目標状態を達成するようにアクチュエータのそれぞれに適切な対応するトルクを適用してもよい。或る特定の挙動を実施する方向に複数のアクチュエータを制御するために、位置制御を使用してもよい。これらの制御方式を実施するためには、挙動コントローラ及び運動コントローラの両方に対する変更が必要であることが理解されるべきである。

【0111】

制御システムは、既知の座標系における手持ち部分の姿勢を決定するように構成してもよい。手持ち部分の姿勢は、指令姿勢、シミュレートされた指令姿勢、測定姿勢、以前の指令姿勢、以前の測定姿勢又はそれらの組合せであってもよい。1 つの特定の実施態様では、手持ち部分の姿勢は指令姿勢であり、手持ち部分の指令姿勢は、鋸刃と手持ち部分と

の間の関係である。代替的に、制御システムは、同様の方法で、既知の座標系におけるツール支持体の姿勢を決定するように構成してもよい。後述する例では、指令姿勢は、手持ち部分に対して目標平面（TP）を基準として計算される。指令姿勢を計算するために利用される変換に関する追加の詳細については、図10を参照して説明し、また、それは、引用することにより本明細書の一部をなすものとする、2020年9月30日に出願された米国仮出願第63／085,651号において記載されている。視覚インジケータは、システムの異なる構成要素を基準として計算された姿勢を含む、他の姿勢に基づいて制御してもよいことが理解されるべきである。

【0112】

目標平面に対する手持ち部分の計算された姿勢に基づいて、制御システムは、ピッチ値、ロール値、高さ値又はそれらの組合せを決定してもよい。言い換えれば、制御システムは、指令姿勢を構成する並進における位置（本明細書では高さ（elevation）と称するz軸並進等）、ロールにおける向き、及びピッチにおける向き等、1自由度以上における手持ち部分の位置又は向きを決定してもよい。付加的又は代替的に、アクチュエータアセンブリの性質に応じて、手持ち部分の位置及び向きは、ヨー、x軸並進及びy軸並進等の他の自由度で計算してもよい。これらの値は、手持ち部分のデカルト空間で表現してもよい。以下の説明は、手持ち部分の位置又は向き及び手持ち部分の可動域に基づいて視覚インジケータが制御される一例であることを理解されるべきである。しかしながら、ツール支持体又はツール等の器具の他の部分に関して同様の計算を行うことができることも企図される。このため、本明細書全体を通して、手持ち部分の特徴（姿勢又は位置又は向き又は可動域等）に基づいて視覚インジケータを制御するという任意の言及は、ツール支持体又はツールの姿勢／位置／向き又は可動域に基づいて視覚インジケータを制御する等、器具の他の部分の特徴に基づいて視覚インジケータを制御することと置き換えることができる。これらの実施態様の例については、簡潔にするために省略している。

【0113】

制御システムはまた、ツール支持体に対する手持ち部分の理論的な可動域を決定又は受信するように構成してもよい。或る特定の場合では、手持ち部分の理論的な可動域は、手持ち部分の特定の姿勢に基づいてもよい。これは、1自由度以上での可動域が、別の自由度における手持ち部分の位置又は向きに基づいて変化する可能性があるという事実による。例えば、ロール自由度及びピッチ自由度における可動域は、高さ自由度における手持ち部の位置に基づいて変化する可能性がある。言い換えれば、ロールにおける可動域は、第1の高さ値において第2の高さ値よりも小さい可能性がある。理論的な可動域のデータセットは、経験的に取得しても数学的に取得してもよい。こうした経験的方法の1つは、ツール支持体と手持ち部分との種々の関係を表す統計的に有意な数の姿勢で、手持ち部分の実際の姿勢をプロットすることであってよい。経験的に収集されたデータセットに基づいて理論的な可動域をプロットし計算するために、様々な曲線当てはめアルゴリズム及び回帰を使用してもよい。代替的に、理論的な可動域は、アクチュエータアセンブリの運動学に基づいて数学的に計算してもよい。

【0114】

1つの例では、制御システムは、複数の自由度のそれぞれについて、独立して可動域を計算してもよい。例えば、制御システムは、ピッチの可動域、ロールの可動域、及び高さの可動域を計算する。図12を参照すると、手持ち部分の可動域は、既知の座標系におけるデカルトモデル（Cartesian model）200によって定義される体積であってもよい。デカルトモデル200は、ツール支持体に対する手持ち部分又はその逆の3次元作業空間を表す。デカルトモデルは、手持ち部分のピッチ、ロール、並進等を決定するために使用される姿勢と同じ座標系で計算される。デカルトモデル200は、理論的な可動域を理解するために使用される。デカルトモデルは、ツール支持体の姿勢をピッチ値、ロール値又は高さ値、すなわち第1の自由度、第2の自由度又は第3の自由度に関して表現するために用いられるデカルト座標にマッピングされる。デカルトモデル200は、x座標、y座標及びz座標によって定義され、ロール値、ピッチ値及び高さ値にマッピングすること

ができる。上述したように、ツール支持体の3次元作業空間を表すデカルトモデル200は、経験的なデータから導出してもよい。デカルトモデル200について菱形形状を示しているが、デカルトモデルは好適な3次元形状を有することができ、必ずしも対称ではないことが理解されるべきである。さらに、デカルトモデルは、複数の交差する線で表してもよく、それらの交差する線のそれぞれに対する方程式は、経験的データ(empirical data)からの様々な回帰に基づいて、又はアクチュエータアセンブリの運動学に基づいて計算することができることが理解されるべきである。

【0115】

所定のデカルトモデルの形状は、八面体、非対称八面体、球体、立方体、円柱等の体積として実施してもよい。特に、いくつかの例では、アクチュエータのそれぞれがホームポジションにあるときのツール支持体18と手持ち部分16との間の平面位置について非対称である等、体積として定義される場合のデカルトモデルが、デカルト体積が平面の下方よりも平面の上方の方が大きいように、形状が非対称であってもよい。この例では、体積は、複数のデカルト点によって定義してもよい。この体積は、器用な作業空間よりも小さく(すべての到達可能な構成よりも小さく)てもよい。代替的に、所定のデカルトモデルは、各自由度において別個に定義してもよい。例えば、デカルトモデルは、複数のデカルト点を用いて定義してもよい。所定のデカルト空間は、軸、すなわち、その軸に沿って又はその軸を中心に鋸刃を変位させることができる軸(x 、 y 、 z)のうちの任意の1つ、2つ又は3つに基づいて、1つ以上の向きによって定義してもよい。

【0116】

本質的に、手持ち部分の姿勢を表現するために使用されるデカルトモデル200と、理論的な可動域を理解するために使用されるデカルト座標系との関係は既知である。計算を簡単にするために、2つのデカルト座標系の原点は互いに位置合せされるか、又は互いに対して既知であり、本明細書を通じて同義に言及されることがあると想定する。アクチュエータの構成に応じて、或る特定の自由度の可動域が重要でないことがあるため、すべての自由度における位置又は姿勢を理論的な可動域と比較する必要はない。

【0117】

デカルトモデル200は、複数の2次元スライスを含むと理解してもよく、各スライスは、第3の自由度における位置又は向きに基づいて、2自由度における可動域を表す。図12において、各2次元スライス(202'、202'')は、特定の高さ値におけるピッチ自由度及びロール自由度における可動域を表す。図12を参照すると、下方の高さのスライスは、上方の高さのスライスよりもピッチ及びロールの追加の可動域に対応することが容易に明らかである。全体としてデカルトモデルに関して上述したように、各2次元スライスは、4本の線等、複数の線によって表してもよい。各線には、方程式が定義されている。それらの線の交点で囲まれた領域は、2次元スライス領域と理解することができる。

【0118】

ここで図13～図20を参照すると、手持ち部分の理論的な可動域に関して、複数の2次元スライス202'、'、'及び202'、'、'は、複数の2次元領域として理解することができ、各領域は特定の高さでそれ自身の原点を定義している。したがって、2次元スライスのそれぞれは、極座標系で理解することができる。ピッチ値及びロール値(x_1 、 y_1 ； x_2 、 y_2 ； x^* 、 y^* ...)に対応する2次元領域の外側境界線は、その特定の高さにおける手持ち部分の可動域の最外限界にある。2次元スライス数は特に限定されず(図12では2つのみ示す)、0.1mm等の離散的な高さ間隔でプロットしてもよい。言い換えれば、デカルトモデル全体について、0.1mmの間隔で、あり得る最小の高さ値から最大の高さ値まで2次元領域を計算してもよい。当然ながら、任意の好適な間隔を使用してもよい。制御システムは、その指令姿勢の高さ値に最も密接に対応する2次元領域を選択してもよい。

【0119】

概して、制御システムは、1自由度以上における手持ち部分の実際の位置又は向き、及

10

20

30

40

50

び1自由度以上における可動域に基づいて、視覚インジケータを制御するように構成されている。これは、第1の自由度における手持ち部分の位置又は向き及び可動域に基づき、第2の自由度における手持ち部分の位置又は向き及び可動域に基づき、第3の自由度における手持ち部分の位置又は向き及び可動域に基づき、視覚インジケータを制御することを含んでもよい。上述したように、視覚インジケータはまた、他の自由度における位置及び向きに基づいて制御することもできる。

【0120】

さらに、制御システムは、手持ち部分の第1の姿勢と、第1の姿勢に基づく第1の可動域とを決定し、手持ち部分の第2の姿勢を決定し、第2の姿勢に基づく第2の可動域を決定するように構成してもよいことが理解されるべきである。第1の可動域と第2の可動域とは異なることと、第1の姿勢と第2の姿勢とは互いに異なり、すなわち、2つの異なる時間の事例における手持ち部分の姿勢を表すことが理解されるべきである。1自由度以上における可動域は、別の自由度における手持ち部分の位置又は向きによって決まる可能性があるため、可動域は、第1の可動域と第2の可動域とで異なる可能性がある。制御システムは、第1の自由度における第1の姿勢に基づいて手持ち部分の位置又は向きを決定し、第1の位置又は向き及び第1の可動域に基づいて視覚インジケータを制御し、第1の自由度における第2の姿勢に基づいて手持ち部分の第2の位置又は向きを決定し、第2の位置又は向き及び第2の可動域に基づいて視覚インジケータを制御してもよい。例えば、制御システムは、第1の時点でのロールにおける手持ち部分の向きとロールにおける手持ち部分の向きの可動域とを決定し、第2の時点でのロールにおける手持ち部分の向きとロールにおける手持ち部分の可動域とを決定してもよく、第1の時点と第2の時点とでロールは異なり、第1の時点と第2の時点とでロールにおける可動域も異なり、それに応じて視覚インジケータが制御される。この例はロールについて提供されているが、ピッチ、並進（高さ等）、又は他の自由度において同じ計算を行うことができることが理解されるべきである。これにより、視覚インジケータが、手持ち式手術器具の可動域の正確な表示を常に伝えることができ、これにより、器具がより適切に利用されることが可能になり、ユーザが十分な可動域が存在しなくなった場所で器具を動かしたために外科処置が中断されることを低減させることができる。

【0121】

例として、各高さ値において、ピッチ及びロールの特定の理論的な可動域が達成可能である。したがって、上述したように、ピッチ又はロールの可動域は、それがプロットされる高さ値によって決まる可能性があることが企図される。言い換えれば、第1の高さ（図13～図18を参照）において、手持ち部分は、ピッチ及びロール値の第1の範囲に達することができてもよく、第2の高さ（図19及び図20を参照）において、手持ち部分は、ピッチ及びロール値の第2の範囲に達することができてもよく、ピッチ及びロール値の第1の範囲は、ピッチ及びロール値の第2の範囲とは異なっている。異なる高さにおけるこの可動域の差は、アクチュエータアセンブリの運動学と、ツール支持体と手持ち部分との間で複数のアクチュエータを結合するために使用される関節とに基づく。

【0122】

手持ち部分の可動域が高さ値で異なる可能性があるため、様々な2次元スライス領域の外側境界も互いに異なる可能性があり、したがって、2次元スライス領域の形状及びサイズも互いに異なる可能性がある。例えば、或る特定の2次元スライス領域は対称であってもよく、一方で、他の2次元スライス領域は非対称であってもよく、或る特定の2次元スライス領域は多角形であってもよく、一方で、他の2次元スライス領域は円形であってもよい等である。図19及び図20に示すように、2次元スライス領域は本質的に三角形であり、一方、図13～図18では、2次元スライス領域は本質的に五角形である。より詳細には、再び図13～図18及び図19及び図20を参照すると、手持ち部分の可動域をまとめて定義する複数の2次元領域の中で、2次元領域のうちの1つは、第1の高さにおけるピッチ及びロールの第1の可動域に対応し、2次元領域のうちの別の1つは、第2の高さにおけるピッチ及びロールの第2の可動域に対応する。

【0123】

手持ち部分の姿勢と理論的な可動域との関係をスケーリングにより理解するために、手持ち部分の1つ以上の位置又は向きを、複数の2次元スライス領域に基づいて、極座標系でモデル化してもよい。各2次元領域の外側境界は、ピッチ及びロールを表す座標の4つの対等、座標の少なくとも4つの対に基づいて定義してもよいが、それぞれがそれ自体の方程式を有する一連の線によって表されることが多い。より詳細には、上述したように、姿勢は、ピッチ値、ロール値、高さ値、又は他の自由度における値を含んでもよい。最初に、手持ち部分の指令姿勢に対応する2次元領域が選択される。1つの例では、これは、手持ち部分の指令姿勢の高さ値に対応する理論的な可動域の2次元領域を選択することによって行われる。

10

【0124】

指令姿勢の高さ値に対応するピッチ値及びロール値は、2次元スライス領域に描かれるベクトルとして理解することができる。このベクトルは、実際の偏差ベクトルと称され、2次元領域の原点から、デカルト空間における指令姿勢のピッチ値及びロール値によって定義される端点まで延びる。より全体的には、実際の偏差ベクトルは、複数の2次元領域のうちの少なくとも1つの原点から、第2の自由度における手持ち部分の位置と第3の自由度における手持ち部分の位置とによって極座標系で定義される点まで延びると理解することができ、第1の自由度は、実際の偏差ベクトルのプロットのために複数の2次元領域のうちのいずれが選択されるかを定義する。或る特定の例では、偏差ベクトルの端部は、実際の偏差ベクトルが無限の大きさを有した場合に実際の偏差ベクトルと交差する2次元スライスの境界の部分で定義する1つ以上の方程式によって特徴付けてもよい。

20

【0125】

実際の偏差ベクトルは、大きさ及び方向を示す。図14において、実際の偏差ベクトルはADV1として表示され、 x_1 のロール値及び y_1 のピッチ値、すなわち、およそ8度のピッチ及び14度のロールに対応する。ADV1は、およそ30度の角度 θ_2 と、16という大きさを有する。図16において、実際の偏差ベクトルはADV2として表示され、 x_2 、 y_2 に対応し、これは、-10度のロール及び-6度のピッチに等しい。ADV2は、およそ210度の角度 θ_4 と、12という大きさを有する。図17において、実際の偏差ベクトルはADV3として表示され、 x_3 、 y_3 に対応し、これは、-4度のロール及び-2度のピッチに関係する。ADV3は、およそ210度の角度 θ_5 と、5という大きさを有する。図20において、実際の偏差ベクトルはADV4として表示され、 x_4 及び y_4 、すなわち、およそ12度のロール及び4度のピッチに対応する。ADV4は、およそ30度の角度 θ_8 と、13という大きさを有する。

30

【0126】

図13、図15、図18及び図19を参照すると、或る特定の実施態様では、制御システムは、実際の偏差ベクトルをモデル化するために使用された同じ2次元スライス領域、すなわち同じ高さに関して、可動域ベクトル(RMV1~4)又は可動域線(RML1~RML4)を更に決定する。可動域線(RML1~4)の長さは、ピッチ値とロール値との特定の組合せでその高さ値に対して可能な可動域を表し、一方、可動域ベクトルの長さは、ピッチ値とロール値との特定の組合せで原点の片側にあるその高さ値に対して可能な可動域を表す。より詳細には、制御システムは、第1の自由度における手持ち部分の位置又は向きに基づいて、極座標系における可動域線を決定するように構成されている。可動域線は、2次元領域の境界点から、同じ2次元領域の、その境界点の反対側の角度にある境界点まで延びる。言い換えれば、可動域線は、2つの線分として理解することができ、第1の線分は第1の角度を有し、第2の線分は第1の角度+180度での線分を有する。このように、第1の線分及び第2の線分は、いずれも同じ原点から延び、いずれも原点から2次元スライスの外側境界上の点まで延びている。第1の角度は、各計算における偏差ベクトルの角度と常に等しい。この構成に基づき、可動域線は常に実際の偏差ベクトルと同一線上であるが、実際の偏差ベクトルと完全に同一の広がりには有していない。可動域線の大きさは、様々な方法で計算してもよい。一例では、可動域線と2次元スライス領域を

40

50

定義する1つの線との間の交点である。可動域線は同様に方程式で表してもよく、可動域線と、可動域と交差する境界領域の部分を画定する線とに対する方程式を解いて、可動域線の両端における可動域線と2次元スライス領域との交点の2組の x 、 y 値を求めることができる。これら2組の x 、 y 値に基づいて、可動域線の大きさを計算することができる。可動域ベクトルは、実際の偏差ベクトルの角度に等しい角度を有する。可動域線の1つの線分は、可動域ベクトルから構成してもよい。

【0127】

図13において、可動域ベクトルはRMV1として表示され、 y 5のピッチ値及び x 5のロール値、すなわちおよそ10度のピッチ及び18度のロールに対応する。RMV1は、およそ30度の角度 θ_1 と、21という大きさを有する。図15において、可動域ベクトルはRMV2として表示され、 x 3、 y 3に対応し、これは、-12度のロール及び-7度のピッチに等しい。RMV2は、およそ210度の角度 θ_3 と、14という大きさを有する。図18において、可動域ベクトルは、RMV3として表示され、 x 9、 y 9に対応し、これは、18度のロール及び12度のピッチに関係する。RMV3は、およそ30度の角度 θ_6 と、22という大きさを有する。図19において、可動域ベクトルはRMV4として表示され、 x 11、 y 11、すなわち、およそ20度のロール及び6度のピッチに対応する。RMV4は、およそ30度の角度 θ_7 と、21という大きさを有する。RML1(x 6、 y 6で終端)、RML2(x 7、 y 7で終端)、RML3(x 10、 y 10で終端)、RML4(x 12、 y 12で終端)はそれぞれ、それぞれのRMVよりも大きい。しかしながら、図から理解できるように、RMLの大きさは、必ずしもRMVの大きさの2倍ではない。この理由は、2次元領域が、RMVの各角度において、その原点について必ずしも対称ではないためである。後述する具体例は、可動域ベクトルの大きさと実際の偏差ベクトルの大きさとの比較に基づいて視覚インジケータを制御することに言及しているが、可動域線の大きさ(すなわち、長さ)に基づいて視覚インジケータを制御してもよいことも企図される。

【0128】

可動域線又はベクトルと実際の偏差ベクトルとを適切に比較するために、偏差ベクトルの方向は、可動域線の線分方向又は偏差ベクトルの角度と等しくなければならない。言い換えれば、それぞれの角度 θ が互いに等しくなければならない。言い換えれば、可動域線又は可動域ベクトルは、実際の偏差ベクトルの方向に基づいて計算される。同様に、2つのベクトルの大きさを適切に比較するか、又は実際の偏差ベクトルと可動域線の大きさを適切に比較するために、可動域線は、2次元領域において実際の偏差ベクトルが延びるのと同じ原点を通して延びなければならない。可動域ベクトルは、実際の偏差ベクトルが延びるのと同じ原点から延びなければならない。可動域線は、1自由度以上における手持ち部分の位置に基づく2次元領域の2つの境界点まで延びているものと理解してもよく、一方、可動域ベクトルは、2次元領域の単一の境界点まで延びているものと理解してもよい。可動域の大きさは、2次元領域に基づくとともに、2次元領域上における可動域線の端部、すなわち境界点を画定する座標の2つの対に基づいて計算してもよく、一方、可動域ベクトルの大きさは、2次元領域の原点に基づくとともに、2次元領域上の可動域ベクトルの端部、すなわち境界点を画定する座標の対に基づいて計算してもよい。

【0129】

図13及び図14に関して、 θ_1 は θ_2 に等しく、ADV1の大きさはRMV1よりも小さいことが理解されるべきである。制御システムは、RMV1とADV1との大きさを数学的に比較することにより、最も近い可動域境界に対する手持ち部分の任意の所与の姿勢において、手持ち部分に残っている可動域の割合を概算することができる。例えば、ADV1の大きさをRMV1の大きさで割ることにより、最も近い可動域境界に対する手持ち部分のその姿勢において、手持ち部分に対しておよそ22パーセントの可動域が残っていることを理解することができる。可動域ベクトルのこれらの大きさと実際の偏差ベクトルとを使用して、全体を通して記載する視覚インジケータを制御することができる。

【0130】

10

20

30

40

50

図 1 5 及び図 1 6 に関して、 $\theta 3$ は $\theta 4$ に等しく、 $ADV 2$ の大きさは $RMV 2$ よりも小さいことが理解されるべきである。制御システムは、 $RMV 2$ と $ADV 2$ との大きさを数学的に比較することにより、最も近い可動域境界に対する手持ち部分の任意の所与の姿勢において、手持ち部分に残っている可動域の割合を概算することができる。例えば、 $ADV 2$ の大きさを $RMV 2$ の大きさを割ることにより、手持ち部分のその姿勢において、手持ち部分に対しておよそ 17 パーセントの可動域が残っていることを理解することができる。可動域ベクトルのこれらの大きさと実際の偏差ベクトルとを使用して、全体を通して記載する視覚インジケータを制御することができる。

【0131】

図 1 5 及び図 1 7 に関して、 $\theta 3$ は $\theta 5$ に等しく、 $ADV 3$ の大きさは $RMV 2$ よりも小さいことが理解されるべきである。制御システムは、 $RMV 2$ と $ADV 3$ との大きさを数学的に比較することにより、最も近い可動域境界に対する手持ち部分の任意の所与の姿勢において、手持ち部分に残っている可動域の割合を概算することができる。例えば、 $ADV 3$ の大きさを $RMV 2$ の大きさを割ることにより、最も近い可動域境界に対する手持ち部分のその姿勢において、手持ち部分に対して可動域のおよそ 66 パーセントが残っていることを理解することができる。可動域ベクトルのこれらの大きさと実際の偏差ベクトルとを使用して、全体を通して記載する視覚インジケータを制御することができる。

【0132】

図 1 4 及び図 1 8 に関して、 $\theta 2$ は $\theta 6$ に等しく、 $ADV 1$ の大きさは $RMV 3$ よりも小さいことが理解されるべきである。制御システムは、 $RMV 3$ と $ADV 1$ との大きさを数学的に比較することにより、手持ち部分の任意の所与の姿勢において、手持ち部分に残っている可動域の割合を概算することができる。例えば、 $ADV 1$ の大きさを $RMV 3$ の大きさを割ることにより、最も近い可動域境界に対する手持ち部分のその姿勢において、手持ち部分に対して可動域のおよそ 26 パーセントが残っていることを理解することができる。可動域ベクトルのこれらの大きさと実際の偏差ベクトルとを使用して、全体を通して記載する視覚インジケータを制御することができる。13 と 14 の偏差ベクトルの原点は異なっており、その結果、ベクトルのそれぞれの大きさが変化する可能性があることが理解されるべきである。

【0133】

原点は、実際の偏差値ベクトルに対して、いくつかの異なる方法で設定してもよい。1 つの例では、原点は、2 次元領域の質量中心として設定してもよい。代替的に、原点は、幾何学的中心等、2 次元領域の質量中心以外の点として設定してもよい。代替的にさらに、原点は、特定の自由度における可動域が、原点の両側で偏るように設定してもよい。例えば、図 1 4 と図 1 8 とを比較すると、ピッチの自由度に対して、原点よりも上方の可動域が原点よりも下方の可動域よりも大きい可能性がある。これにより、可動域の一方側又は他方側を好むようにユーザを導くように、視覚インジケータを非対称に制御することになる可能性がある。この理由は、図 1 8 と比較して、図 1 4 では、ユーザが自身の手を上方よりも下方に動かすように促される可能性が高いためである。これは、ロール自由度においても当てはまる可能性がある。こうした構成は、ユーザが自身の手を或る一定の方向に傾けるか又は捻る傾向がある場合、又は、ユーザが選択した切断に基づいて、有利である可能性がある。言い換えれば、制御システムは、ユーザによっていずれの切断が選択されたかに基づき、実際の偏差ベクトルの原点を設定するように動作してもよい。代替的に、制御システムは、ユーザが原点を変更する構成を選択することができるユーザインタフェースを提示してもよい。

【0134】

図 1 9 及び図 2 0 に関して、 $\theta 7$ は $\theta 8$ に等しく、 $ADV 4$ の大きさは $RMV 4$ よりも小さいことが理解されるべきである。制御システムは、 $RMV 4$ と $ADV 4$ との大きさを数学的に比較することにより、最も近い可動域境界に対する手持ち部分の任意の所与の姿勢において、手持ち部分に残っている可動域の割合を概算することができる。例えば、 $ADV 4$ の大きさを $RMV 4$ の大きさを割ることにより、最も近い可動域境界に対する手持

ち部分のその姿勢において、手持ち部分に対して可動域のおよそ60パーセントが残っていることを理解することができる。可動域線のこれらの大きさと実際の偏差ベクトルとを使用して、全体を通して記載する視覚インジケータを制御することができる。

【0135】

制御システムは、実際の偏差ベクトルの大きさ、可動域ベクトルの大きさ、実際の偏差ベクトルの方向、可動域のベクトルの方向、又はそれらの組合せに基づいて、視覚インジケータを制御するように構成されている。

【0136】

さらに、制御システムは、実際の偏差ベクトルの（ロールに対応する） x 成分と（ピッチに対応する） y 成分とを分離して比較することにより、ピッチ自由度又はロール自由度（又は他の自由度）に残っている可動域に基づいて、視覚インジケータを独立して制御することもできる。言い換えれば、視覚インジケータのピッチ指標は、実際の偏差ベクトルの y 成分に基づいてもよい。同様に、ロール指標は、実際の偏差ベクトルの x 成分に基づいて制御してもよい。さらに、実際の偏差ベクトルの両成分に基づいて、本明細書ではピッチロール指標と称する、ピッチ及びロールを同時に示す指標を制御してもよい。

【0137】

再び図14、図16及び図17を参照すると、可動域ベクトルの態様に基づいて視覚インジケータを制御することに対する代替形態として、制御システムはまた、可動域の他の計算に基づいて視覚インジケータを制御してもよい。この代替方法は、各自由度に対して別個の視覚インジケータが使用され制御される場合において、特に有用である。この代替例では、特定の自由度における可動域は、手持ち部分の姿勢に基づいて（より詳細には、指令姿勢の1自由度以上に基づいて）計算される。例えば、図14を参照すると、指令姿勢が特定のロール、ピッチ及び高さとして定義される場合、指令姿勢の態様に基づいて、ピッチ可動域が生成され、ロール可動域が生成される。ピッチ及びロールにおける指令姿勢は、 x_1 、 y_1 （14度のロール、8度のピッチ）で表される。この姿勢に基づくピッチ自由度における可動域は、点P1と点P2との間を伸びる直線の大きさとして理解することができる。言い換えれば、ピッチ自由度において利用可能な可動域の大きさは、指令姿勢におけるロール自由度の向き（ロール14度で、ピッチにおいて利用可能な角度（-6度～+12.5度））によって定義される。特定の自由度における可動域を表すこの代替方法は、異なる自由度（この例ではロール）における姿勢に基づくとともに、可動域のデカルトモデルに基づいて、自由度（ピッチ等）の可動域を選択する。

【0138】

更に図14を参照すると、別の例として、制御システムは、指令姿勢等のピッチにおける姿勢に基づいて、ロールにおける可動域を決定してもよい。ピッチにおける指令姿勢は、8度である。この姿勢に基づくロールにおける可動域は、点R1と点R2との間を延びる直線の大きさとして理解することができる。言い換えれば、ピッチが+8度で、ロールにおける可動域は-22度～+22度の範囲であると理解することができる。

【0139】

ここで図16を参照すると、手持ち部分の指令姿勢は、ロールが-10度、ピッチが-6度と決定される（ x_2 、 y_2 を参照）。ロール自由度における-10度の値に基づき、ピッチ自由度における可動域は、+13度～-9度までの範囲、すなわち（P3からP4まで延びる線の大きさによって画定される）22度の大きさである。ピッチ自由度の-6度という値に基づき、ロール自由度の可動域は-15度～+15度、すなわち（R3からR4まで延びる直線の大きさによって画定される）30度であると計算される。

【0140】

ここで図17を参照すると、手持ち部分の指令姿勢は、ロールが-4度、ピッチが-2度と決定される（ x_3 、 y_3 を参照）。ロール自由度における-4度の値に基づき、ピッチ自由度における可動域は、+12.5度～-14度の範囲、すなわち（P5からP6まで延びる線の大きさによって画定される）26.5度の大きさである。ピッチ自由度の-2度という値に基づき、ロール自由度の可動域は-19度～+19度、すなわち（R5か

ら R 6 まで延びる直線の大きさによって画定される) 38 度であると計算される。

【0141】

さらに、ロール可動域の大きさが指令姿勢のピッチ成分に基づくに記載しているが、ロール可動域の大きさは、高さ、ヨー、x 軸並進又は y 軸並進等、指令姿勢の他の成分に基づいて決定することもできることが理解されるべきである。同じことが、ピッチ可動域にも当てはまり、それは、ピッチ可動域の大きさもまた、高さ、ヨー、x 軸並進又は y 軸並進等、指令姿勢の他の成分に基づいて決定することができることが理解されるべきであるという点にある。

【0142】

上述したように、可動域の大きさは、異なる視覚インジケータの構成に対して異なるように決定してもよい。後述するように、視覚インジケータの或る特定の実施態様、特に、各自由度に対して単一の指標を含むものについて、特定の自由度における可動域の大きさは、異なる自由度に対する自由度の値に基づくとともに、デカルトモデルに基づいて、決定してもよい。ピッチ及びロールをまとめて示す光源の配列等の視覚インジケータの他の実施態様では、上述した可動域ベクトルの大きさに依拠してもよく、又は、可動域線の大きさに基づいてもよい。

【0143】

図 1、図 21～図 24 及び図 26～図 27C を参照すると、視覚インジケータは、1 つ以上の表示画面 300、401、500、600、700 UI を含んでもよい。各表示画面は、様々な形態をとってもよい。

【0144】

図 21 を参照すると、制御システムは、第 1 の自由度（並進自由度）における手持ち部分の位置に基づいて、並進指標 302 を表示するように表示画面 300 を制御するように更に構成してもよい。表示画面は、並進範囲内の閾値を示すようなサイズの並進基準オブジェクト 304 を更に含んでもよい。並進指標 302 は、並進自由度における手持ち部分の位置又は向きと並進閾値とに基づき、並進基準オブジェクト 304 内に又は並進基準オブジェクト 304 に対して位置決めしてもよい。並進閾値は、並進閾値の範囲に基づいてもよく、すなわち、並進閾値は、実際には、上限並進閾値と下限並進閾値とを含んでもよい。並進閾値の範囲は、上述した 3 次元作業空間を表すデカルトモデルに基づいてもよい。或る特定の場では、表示画面 300 は、2 つ以上の並進基準オブジェクト 304 を表示するように構成され、少なくとも 1 つの並進基準オブジェクト 304 は表示画面 300 の各側に位置している。並進基準オブジェクト 304 のそれぞれは、高さ自由度等、並進自由度における手持ち部分の位置に基づく並進指標 302 を含んでもよい。1 つの例では、手持ち部分の位置が（指令姿勢から決定されるように）高さ自由度において 5 であると決定され、高さ自由度における可動域が +10～-10 であると決定される場合、並進指標は、並進基準オブジェクトの高さのおよそ 75 % に位置決めしてもよい。言い換えれば、並進基準オブジェクト内の並進指標の位置は、高さに利用可能な可動域に対する指令高さ位置のスケージングされた理解を提供する。

【0145】

図 22 を参照すると、制御システムは、ロール自由度における実際の偏差ベクトルの大きさと、ロール自由度における可動域の大きさとの成分に基づいて、ロール指標 402 を表示するように表示画面 400 を制御するように構成してもよい。上述したように、ロール自由度における可動域の大きさは、指令姿勢のピッチ成分に基づいてもよい。さらに、表示画面 401 は、ロール基準オブジェクト 404 を表示するように構成され、そこでは、ロール指標 402 は、実際の偏差ベクトルの x 成分とピッチ自由度における可動域の大きさとに基づいてロール基準オブジェクトに対して位置決めされる。ロール基準オブジェクト 404 は、円弧に関する指示された場所に位置決めされた複数の空間的注釈 406 を含んでもよく、各空間的注釈 406 はそれに関連する既知の角度を特定し、それにより各空間的注釈 406 によってツール支持体に対する手持ち部分のロールを視覚的に評価することができる。

【0146】

図23及び図24を参照すると、制御システムは、実際の偏差ベクトルのx成分及びy成分（ピッチ成分及びロール成分）の大きさと、ロール自由度における可動域の大きさ及びピッチ自由度における可動域の大きさに基づき、ピッチロール指標502、602を表示するように更に構成してもよい。特定の場合では、ピッチロール指標502、602は、3次元仮想オブジェクトの2次元表現であり、この2次元表現は、実際の偏差ベクトルの大きさ及び方向と、可動域線の大きさ及び方向とに基づいて構成される。例示的な3次元オブジェクトは、鋸刃を表す多角形であり、多角形は正面と背面とを有し、多角形の背面は、多角形の正面の反対側の位置決めされ、多角形の正面又は背面は、実際の偏差ベクトルのx成分及びy成分（ピッチ成分及びロール成分）と、ロール自由度における可動域の大きさ及びピッチ自由度における可動域の大きさに基づいて位置決めされる。1つの実施態様では、制御システムは、実際の偏差ベクトルのy成分（ピッチ成分等）と、ピッチ自由度における手持ち部分の可動域の大きさを決定し、実際の偏差ベクトルのy成分と可動域のピッチ成分の大きさに基づいて、ピッチロール指標を表示するように構成してもよい。より詳細には、2D表現の位置は、これらの値の比に基づいて、表示画面内の適切な位置に（垂直方向に）スケーリングしてもよい。同様に、制御システムは、実際の偏差ベクトルのx成分（ロール成分等）と、ロール自由度における手持ち部分の可動域の大きさを決定するように構成してもよく、表示画面は、実際の偏差ベクトルのx成分とロール自由度における可動域の大きさとの比に基づいて、2D表現を適切な位置に（回転可能に）スケーリングするように構成してもよい。

10

20

【0147】

図23の最左の表示500に関して、手持ち部分のピッチとピッチ可動域の大きさとの比は、実際の偏差ベクトルのy成分が可動域の底部に近く（ピッチ自由度内にあり）、したがって、ピッチロール指標502の正面が画面の底部に近いことを示す。図23の中央の表示502'では、手持ち部分のピッチは、ピッチ自由度において、最上可動域に近く、したがって、正面のピッチロール指標502'は、表示の頂部に近い。また、図23の最右の表示502''を参照すると、手持ち部分のピッチ成分は、ピッチ自由度における可動域の中央にあり、したがって、ピッチロール指標の正面は、表示画面の中央にある。これらのそれぞれについて、背面であるものが見えないように仮想オブジェクトが表示される。

30

【0148】

図24に関して、ピッチロール指標602は、指令姿勢のピッチ成分がピッチ自由度における可動域の大きさの下半分にあることを示す位置で、表示画面600上に位置決めされる。見るができるように、ピッチ可動域の中心は、下部ピッチ制限#2と上部ピッチ制限#1との間（すなわち、ピッチ可動域の大きさの中央値）にある。これらの上部ピッチ制限及び下部ピッチ制限は、ピッチ可動域の大きさの外側境界線に対応してもよい。

【0149】

ここで図27A～図27Cを参照すると、手持ち部分及びツール支持体が3つの異なる形態にある器具が示されている。図27A～図27Cに関して、各表示画面は、ロール指標702、高さ指標704、及びピッチロール指標706を示す。図27Aは、手持ち部分が、ピッチ及びロールがずれており高さが中心合せされていることに基づく、ロール指標702、高さ指標704及びピッチロール指標706の状態を示す。より詳細には、図27Aは、手持ち部分が可動域の左下隅にある状態を示す。図27Bは、手持ち部分が、ピッチ及びロールがずれており高さが中心から外れていることに基づく、ロール指標702、高さ指標704及びピッチロール指標706の状態を示す。より詳細には、図27Bは、手持ち部分が可動域の右上隅にあることに対応するピッチロール指標706を示す。図27Cは、手持ち部分が、ピッチがずれており高さ自由度が所望の位置にあることに基づく、ロール指標702、高さ指標704及びピッチロール指標706の状態を示す。

40

【0150】

或る特定の構成において、図28～図31、図33A、図34、図37及び図42Bを

50

参照すると、視覚インジケータは、複数の光源を含む。より詳細には、図28～図30を参照すると、視覚インジケータ800は、ピッチロールインジケータ804として知られるピッチ及びロール自由度に対応する1つ以上の光源と、並進視覚インジケータ802として知られる並進自由度（すなわち高さ）に対応する1つ以上の光源と、手持ち部分が2自由度以上でホームポジションの或る一定の閾値内にあるか否かを示すよう構成された光源806とを含んでもよい。制御システムは、複数の光源のうちの少なくとも1つの状態を制御するように構成してもよい。制御システムは、実際の偏差ベクトルの大きさ、実際の偏差ベクトルの方向、可動域ベクトルの大きさ、又は可動域線の大きさ、可動域ベクトルの方向、又はそれらの組合せに基づいて、複数の光源802、804、806の状態を制御して、ピッチの向き、ロールの向き、及び並進位置のうちの1つ以上における1つ以上の所望の変化を同時にユーザに示してもよい。代替的に、上述したように、視覚インジケータは、高さ、ピッチ及びロール以外の自由度における所望の変化を示すように、上述したものよりも少ないか又は追加の光源を含んでもよい。

10

【0151】

複数の光源802、804、806の状態は、複数の光源のうちの少なくとも1つの光源がオンかオフか、少なくとも1つの光源によって放出される光パルスの周波数、少なくとも1つの光源によって放出される光の強度、少なくとも1つの光源の色、又はそれらの組合せを含んでもよい。これらの状態は、光源に特定のコマンドを送信すること、又は複数の光源に供給される電流、電圧若しくはそれらの組合せを制御することによって制御してもよい。

20

【0152】

視覚インジケータは、直感的な様式での外科医への情報の供給を最大限にするように、互いに対して特定の様式で配置された複数の光源を含んでもよい。1つの構成では、複数の光源のうちの少なくとも3つのピッチロール光源804は、互いに共通の平面上にある。これにより、外科医は、ピッチロール光源804が手持ち部分16の平面を表していることを直感的に理解することができる可能性がある。ここでは、3つの光源を言及しているが、任意の数の光源を互いに共通の平面上に位置決めしてもよく、例えば、少なくとも4つ、6つ、8つ、10個又は12個の光源を、互いに共通の平面上に位置決めしてもよい。ピッチロールの複数の光源804のうち少なくとも3つは、中心軸808を包囲するように配置してもよく、これらを総じてアレイ805と称する。言い換えれば、アレイの複数の光源は、円の外観を与えるように中心点から等距離量だけ放射状に間隔を空けて配置してもよく、より全体的には、複数の光源は中心軸808を取り囲むように配置してもよい。

30

【0153】

上述したように、光源の囲みアレイ805は、実際の偏差ベクトルの大きさに基づいて制御システムによって制御してもよい。光源の囲みアレイ805はまた、可動域ベクトルの大きさに基づいて制御してもよい。言い換えれば、制御システムは、実際の偏差ベクトルの大きさと可動域のベクトルの大きさとを比較し、その比較に基づいて、アレイ805を構成する1つ以上の光源804を照明してもよい。可動域ベクトルの大きさは、4分の1、3分の1、又は他の一定の割合の間隔等、所定の等しい分数に分割してもよい。可動域ベクトルの大きさのこれらの分数を使用して、複数の光源の制御を容易にすることができる1つ以上の偏差閾値を生成してもよい。例えば、偏差閾値は、上限偏差閾値と下限偏差閾値とを含んでもよい。しかしながら、その大きさを使用して、上限偏差閾値及び下限偏差閾値に加えて閾値を含む、任意の数の閾値を生成してもよい。加えて、その大きさを使用して、例えば、可動域ベクトルの大きさの中心から20%以内の、一組の入れ子になった閾値の範囲を生成してもよく、それは、第1の入れ子範囲であり、可動域ベクトルの大きさの中心から80%以内であってもよい。

40

【0154】

上限及び下限の偏差閾値又は範囲は、望ましいとされる特定の自由度における位置又は向きに基づいて設定してもよい。より詳細には、例えばピッチに関して、下限入れ子範囲

50

は、（可動域ベクトルの大きさの20%に対応する）可動域の中央値20%に設定してもよい。言い換えれば、ピッチの可動域が -10° ～ 10° である場合、下限偏差閾値は、 -2° ～ $+2^{\circ}$ に設定してもよい。実際の偏差ベクトルのピッチ成分が -2° ～ $+2^{\circ}$ の範囲内にある場合、制御システムは、すべての光源がオンである、すべての光源がオフである、又は光源が特定の色を照明するように制御される等、特定の照明パターンを提示するようにアレイ805を制御してもよい。ロール自由度に関して、下限入れ子範囲は、ロール自由度における可動域の中央値20%に設定してもよい。言い換えれば、ロールの可動域が -10° ～ 10° である場合、下限入れ子範囲は、 -2° ～ $+2^{\circ}$ に設定してもよい。実際の偏差ベクトルのロール成分が -2° ～ $+2^{\circ}$ の範囲内にある場合、制御システムは、すべての光源がオンである、すべての光源がオフである、又はすべての光源が特定の色を照明するように制御される等、特定の照明パターンを提示するようにアレイ805を制御してもよい。制御システムにより、2自由度以上に対する下限偏差値範囲に基づいてアレイ805を同時に制御してもよいことも企図される。言い換えれば、制御システムは、ピッチ及びロールと、ピッチ及びロールに対応する入れ子範囲とに基づいて、アレイ805を制御してもよい。したがって、アレイは、指令姿勢のピッチ成分及びロール成分の両方が下限入れ子範囲値内にある場合、全照明オン又は全照明オフ等の特定のパターンを提示するのみとしてもよい。同様に、指令姿勢のピッチ成分及びロール成分の両方が入れ子範囲値の上限の組内にある場合、又は指令姿勢のピッチ成分及びロール成分が入れ子範囲値の下限の組及び入れ子範囲値の上限の組の両方の外にある場合、全照明オン又は全照明オフ等の有無に基づいて、アレイを制御してもよい。

10

20

【0155】

図25を参照すると、視覚インジケータ800のアレイ805の概略図が描かれている。制御システムは、光源の囲みアレイ805におけるルート光源810を特定するように更に構成してもよい。これは、実際の偏差ベクトルの方向に基づいて計算してもよい。ルート光源810は、偏差ベクトルの角度に最も近いピッチロール光源804であってもよい。ルート光源810は、実光源としても仮想光源としてもよい。仮想光源である場合、いずれの実光源が仮想光源に最も近いかを特定する別のステップが必要である。実光源及び仮想光源でモデル化することにより、照明アレイの機械的構成に応じてアルゴリズムをスケールリングすることができる（同じアルゴリズムをLEDのすべての異なる空間配置に適用することができる）。図25では、簡単のために、すべてのピッチロール光源804が実光源であると想定する。実際の偏差ベクトルの θ は、最上光源から時計回りに第2の光源に対応する角度に最も近い場合、第2の光源をルート光源810とみなす。

30

【0156】

制御システムは、ルート光源810に第1の側及び第2の側で、すなわちルート光源810の右及び左で隣接する少なくとも2つの隣接光源812を特定するように更に構成してもよい。隣接光源812が特定されると、制御システムは、実際の偏差ベクトルの大きさ及び可動域ベクトルの大きさに基づいて、少なくとも2つの隣接光源の状態を制御するように構成してもよい。2つの隣接光源812の状態は、少なくとも2つの隣接光源がオンであるかオフであるかであってもよい。代替的に、制御システムは、少なくとも2つの隣接光源によって放出される光パルスの周波数、少なくとも2つの隣接光源によって放出される光の強度、少なくとも2つの隣接光源の色、又はそれらの組合せを制御してもよい。隣接光源812は、アレイ805において、ルート光源に対して時計回り方向の光源、及びルート光源に対して反時計回り方向の光源を含んでもよい。1つの例では、ピッチの可動域が（可動域ベクトルから導出される） -10° ～ $+10^{\circ}$ であり、ピッチ値（すなわち、偏差ベクトルのy成分）が（ -4° ～ $+4^{\circ}$ の入れ子範囲外の）8である場合、制御システムは、隣接光源812を照明してもよい。ピッチの可動域が -10° ～ $+10^{\circ}$ であり、入れ子範囲がピッチにおいて -4° ～ $+4^{\circ}$ であり、指令姿勢のピッチ成分が、範囲内である2である場合、制御システムは、隣接光源812を照明しなくてもよい。他の自由度、特にロール自由度に同様の制御を採用してもよいことは理解されるべきである。

40

【0157】

50

或る特定の実施態様において、制御システムは、上述した隣接光源 812（「一次隣接光源」）に隣接する隣接光源の追加のグループ（「二次隣接光源」 814）を特定するように更に設計してもよい。この隣接光源 814 の追加のグループの状態は、実際の偏差ベクトルの大きさと可動域ベクトルの大きさに基づいて更に制御してもよい。例えば、制御システムは、入れ子範囲との比較に基づいて、一次隣接光源 812 及び二次隣接光源 814 の状態を制御してもよいことが企図される。より詳細には、制御システムは、実際の偏差ベクトルの大きさが範囲の内側の組の範囲内にある場合、一次隣接光源 812 をオンにするが、二次隣接光源 814 をオンにしなくてもよい。さらに、制御システムは、実際の偏差ベクトルの大きさが内側の入れ子範囲外であるが外側の入れ子範囲内である場合、二次隣接光源 814 及び一次隣接光源 812 をオンにしてもよい。二次隣接光源 814 は、ルート光源 810 及び一次隣接光源 812 以外の任意の数の光源を含んでもよいことが理解されるべきである。例えば、二次隣接光源 814 は、囲みアレイ 805 におけるピッチロール光源 804 の完全な残りを含むことができる。言い換えれば、ルート光源 810、一次隣接光源 812 及び二次隣接光源 814 がすべて照明されるとき、囲みアレイ 805 内のすべての光源を照明してもよいことが理解されるべきである。さらに、制御システムは、隣接光源の更に別のグループ（「三次隣接光源」 816）を特定するように構成することができ、制御システムは、同様の様式で、すなわち、第 3 の入れ子範囲又は第 4 の入れ子範囲を用いて、三次隣接光源 816 を制御することができることが企図される。一次隣接光源及び二次隣接光源は、それぞれ独立して任意の数の光源を含んでもよいが、典型的には、ルート光源 810 に対して反時計回り及び時計回り方向に対称的な数の光源を含んでもよいこともまた企図される。

10

20

【0158】

再び図 28 を参照すると、視覚インジケータ 800 は、囲みアレイ 805 とは異なるように制御してもよい並進視覚インジケータ 802 もまた含んでもよい。制御システムは、決定された並進値及び 1 つ以上の並進閾値又は並進範囲に基づいて、並進視覚インジケータ 802 に関連する光源の状態を制御してもよい。入れ子並進範囲を含む並進閾値又は並進範囲は、並進可動域の大きさの一定の間隔又は一部であってもよい。決定された並進値は、指令姿勢に基づいて決定してもよい、並進自由度における手持ち部分の位置である。並進視覚インジケータ 802 は、複数の光源を含んでもよい。光源のそれぞれは、並進視覚インジケータの 1 つ以上のセグメント 803 a、803 b に対応してもよい。したがって、並進視覚インジケータ 802 は、第 1 のセグメント、第 2 のセグメント、及び任意選択的に追加のセグメントを含んでもよく、セグメントのそれぞれは、1 つ以上の光源を含む。制御システムは、第 1 のセグメント 803 a、第 2 のセグメント 803 b、及び他のセグメントに対応する光源の状態を制御して、手持ち部分の並進位置を変更するようにユーザに示してもよい。1 つの構成において、第 1 のセグメント及び第 2 のセグメントは、並進視覚インジケータ 802 の中線 M の両側にある。こうした実施態様において、制御システムは、第 1 のセグメント 803 a 又は第 2 のセグメント 803 b に対応する光源を照射して、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。

30

【0159】

並進視覚インジケータ 802 の第 1 のセグメント 803 a 及び第 2 のセグメント 803 b は、軸 808 上で整列してもよい。並進視覚インジケータ 802 の軸は、ツール支持体 18 又はツール 20 によって画定される平面に対して垂直であってもよい。並進視覚インジケータ 802 の少なくとも一部は、光源の囲みアレイ 805 によって包囲してもよい。加えて、並進視覚インジケータ 802 の軸は、光源の囲みアレイ 805 によって画定される平面に垂直であってもよい。制御システムは、並進視覚インジケータに関連するそれらの光源のうちのルート並進光源を特定するように更に構成してもよい。

40

【0160】

しかしながら、ルート並進光源は、偏差ベクトルの角度を用いて特定されるのではなく、並進値に基づくとともに、1 つ以上の並進閾値に基づいて特定される。制御システムは、指令姿勢の並進成分と並進閾値又は入れ子並進範囲とに基づいて、並進インジケータに

50

対応する光セグメントの状態を制御してもよい。入れ子並進範囲のそれぞれは、上限並進閾値と下限並進閾値とを含んでもよい。

【0161】

図29A～図29Gに関して、例示的な空間配置を参照して視覚インジケータの状態について説明する。図29Aは、手持ち部分が全ての自由度においてツール支持体と位置合せされていることを表す。これは、並進視覚インジケータの光セグメント803c、すなわち中央の光セグメントを照明することにより、視覚インジケータ800上に示され、これは、手持ち部分16がピッチ自由度における可動域のほぼ中心内にある（又は最内の並進入れ子範囲内にある）ことを示す。光源806もまた照明され、その理由は、手持ち部分16がピッチ自由度及びロール自由度について所望の可動域内にある（手持ち部分のピッチ成分が最内のピッチ入れ子範囲内にあり、手持ち部分のロール成分が最内のロール入れ子範囲内にある）ためである。さらに、光源804a～804h等のアレイ805内のすべての光源が照明されて、手持ち部分がツール支持体とピッチ自由度及びロール自由度における所望の可動域まで概して位置合せされていることを示す。

10

【0162】

図29Bに関して、手持ち部分は、ツール支持体に対してピッチングしており、ユーザは、所望の可動域に到達するために手持ち部分を前方に傾けることが望まれる。この場合、ピッチの変化のみが望まれるため、並進視覚インジケータの光セグメント803cが照明される。さらに、ピッチのみの変化が望まれる（実際の偏差ベクトルはおおよそ0度）ため、ルート光源804aは照明される。手持ち部分のピッチが第1の閾値を超えるため、隣接光源のうち2つも照明された光セグメント804b、804hである。

20

【0163】

図29Cに関して、ユーザは、手持ち部分をピッチ方向において後方に傾け、手持ち部分を上方に引き上げることが望まれる。手持ち部分の引上げに対処するために、並進が最下並進閾値に近い場合、並進インジケータの光源803eが照明される。所望のピッチの変化に対処するために、ルート光源は、804e（おおよそ180度の角度を有する実際の偏差ベクトル）として特定される。所望のピッチの変化の大きさに基づいて、隣接光源804d及び804fも照明される。

【0164】

図29Dに関して、ユーザは、ロール自由度において手持ち部分を時計回りに捻ることが望まれ、高さの変化は要求されない。これは、並進視覚インジケータの光セグメント803cを照明することによって視覚インジケータ800上に示され、これは、手持ち部分16がピッチ自由度における可動域のほぼ中心内にあることを示す。ルート光源804gが、特定され照明される（実際の偏差ベクトルはおおよそ270度の方向を有する）。要求されるロールの動きの程度に基づいて、隣接するピッチロール光源804h及び804fも照明される。

30

【0165】

図29Eに関して、ユーザは、ロール自由度において、手持ち部分を反時計回りに捻ることが望まれる。手持ち部分の引上げに対処するために、並進が最下並進閾値に近い場合、並進インジケータの光源803eが照明される。ルート光源804cが、特定され照明される（実際の偏差ベクトルはおおよそ90度の方向を有する）。要求されるロールの動きの程度に基づいて、光源804b及び804dも照明され、これは、隣接光源又は隣接光セグメントとみなすことができる。

40

【0166】

図29Fに関して、ユーザは、手持ち部分を上に引き上げる、すなわち、高さを変更することが望まれ、ピッチ及びロールの自由度には変更が望まれない。手持ち部分の引上げに対処するために、並進が最下並進閾値に近い場合又は最外並進入れ子範囲の下方で外側であるため、並進インジケータの光源803eが照明される。手持ち部分16の指令姿勢のピッチ成分及びロール成分が、ピッチ及びロールの自由度に対して最内の入れ子範囲内にあるため、光源806もまた照明される。さらに、手持ち部分がピッチ及びロールの自由

50

度における所望の可動域までツール支持体と概して位置合せされていることを示すために、光源 804 a ~ 804 h 等のアレイ 805 内のすべての光源が照明される。

【0167】

図 29 G に関して、ユーザは、手持ち部分を下に下げる、すなわち、高さを変更することが望まれ、ピッチ及びロールの自由度には変更が望まれない。手持ち部分の引下げに対処するために、並進が最上並進閾値に近い場合、並進インジケータのセグメント 803 a が照明される。手持ち部分 16 がピッチ及びロールの自由度の所望の可動域内にあるため、光源 806 もまた照明される。さらに、手持ち部分がピッチ及びロールの自由度における所望の可動域までツール支持体と概して位置合せされていることを示すために、光源 804 a ~ 804 h 等のアレイ 805 内のすべての光源が照明される。

10

【0168】

図 30 A ~ 図 30 E に関して、並進視覚インジケータ 802 について更に説明する。並進視覚インジケータ 802 は、複数の光セグメント 803 a ~ 803 e を含むことができる。各光セグメントは、1 つ以上の光源に関連してもよい。（複数の場合もある）並進閾値は、並進閾値の範囲を含んでもよい。並進閾値の範囲は、手持ち部分に対するツール支持体の 3 次元作業空間を表すデカルトモデルに基づいてもよい。例えば、手持ち部分の並進値が 5 であり、並進の可動域が -10 ~ +10 である場合、制御システムは、並進インジケータの一部として示す 5 つのセグメントのうちの第 2 のセグメント（803 b）を特定する（図 30 B を参照）。並進値が 10 である場合、並進視覚インジケータ 802 における最上光源（803 a）を照明してもよい（図 30 A を参照）。光セグメント 803 a ~ 803 e のうちの 1 つ以上は、他の光セグメントとは異なる色を発するように構成してもよい。例えば、最上光セグメント（803 a）及び最下光セグメント 803（e）は、同じ色を発するように構成してもよく、一方、中央光セグメント 803 c は、最上光セグメント及び最下光セグメントと異なる色を発するように構成してもよい。さらに、中間光セグメント（803 b 及び 803 d）は、第 3 の色の光を発するように構成してもよい。並進値に応じて異なる色の光を発することにより、ユーザは、並進における可動域制限にどの程度近いかを理解することができる。図 30 A は、高さ値が高さに対する可動域制限の最上部に近いことを示す。図 30 B は、高さ値が、可動域閾値の最上部（803 a の照明を引き起こす）と、可動域の中心閾値（803 c の照明を引き起こす）との間にあることを示す。図 30 C は、803 c が照明されており、これは、高さ値が可動域の中心閾値の範囲にあることを示す。図 30 D は、図 30 B の逆（セグメント 803 d が照明されている）であり、図 30 E は、図 30 A の逆であって、803 e が照明されている。

20

30

【0169】

図 31 は、視覚インジケータ 900 の別の図である。中央柱 902 は、上述した並進視覚インジケータ 802 のように機能し、図 30 A ~ 図 30 E に関して上述したように制御される複数のセグメントを含んでもよい。視覚インジケータ 900 は、複数の光源を含んでもよいアレイ 905 を更に含んでもよい。アレイ 905 は、アレイ 805 に関して上述したように機能してもよく、アレイ 805 と同様の複数の光源を含んでもよい。

【0170】

重要なことは、上述した視覚インジケータに基づいて、手持ち式ロボットシステムのオペレータは、刃支持体 18 が手持ち部分 16 に対して所望の可動域を有するか否かを視覚的に理解することができることである。特に、ホームポジションにあるとき、アクチュエータ 21、22、23 の調節可能性の量は、ツール 20 を所望の姿勢に維持するために最大化される。器具 14 の特定の幾何学的形状及び構成に応じて、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 がそれらのホームポジションにあるとき、ツール 20 は、ロールの向きの変化がゼロであるとともに z 軸並進がないと想定して、ホームポジションに対して約 ±18 度のピッチの向きで調整してもよい。いくつかの例では、すべてのアクチュエータ 21、22、23 がそれらのホームポジションにあるとき、ツール 20 は、ピッチの向きの変化がゼロであるとともに z 軸並進がないと想定して、ホームポジションに対して約 ±33 度のロールの向きで調整しても

40

50

よい。いくつかの例では、すべてのアクチュエータ 21、22、23 がそれらのホームポジションにあるとき、ツール 20 は、ピッチの向き及びロールの向きの変化がゼロであると想定して、ホームポジションに対して約±0.37インチ(9.398ミリメートル)のz軸並進で調整してもよい。ツール 20 に対して、動作中、ピッチ、ロール及びz軸並進を同時に、順次、又はそれらの組合せで調整してもよい。

【0171】

図32A～図32Cは、指標が、手持ち部分のピッチ及びロール、又は手持ち部分の高さに関する直感的な情報をユーザに提供する、表示画面の図である。提供される指標は、以前に導入した所望の切断面に対する手持ち部分の平面を示すものであってもよい。指標は、所望の切断面を表す円又は他のマーキングを含んでもよい。この円は静的であつてもよい。指標は、円に対して移動可能な「X」又は他のタイプのマーキングを更に含んでもよい。手持ち部分の平面がピッチ、ロール又は両方において所望の切断面から逸脱する場合、Xを円の外側に表示してもよい。例えば、ピッチの逸脱は、Xが円の上方又は下方に表示されることを含んでもよく、ロールの逸脱は、Xが円の右側又は左側に表示されることを含んでもよい。上記の決まりにより、図32Bは、手持ち部分の平面が所望の切断面に対して上方に角度が付けられ、所望の切断面より左側にローリングしていることを示す。図32Cは、図32Bよりも逸脱が小さいことを示す。指標は、所望の切断面に対する手持ち部分のz軸位置を組み込んでもよい。特定の実施態様では、円の厚さは、所望の平面に対する手持ち部分のz軸位置に基づいて変更してもよい。例えば、図32Bに示すように、手持ち部分が上方又は下方に動かされるに従い、円の厚さが増大する。円は、所望の切断面に対して手持ち部分がある一定の姿勢に到達すると、所定の最大値まで厚さを増大させるか、又は完全に埋めてもよい。表示は、指標が重ね合わされた視覚的作業ゾーンを提供してもよい。

【0172】

図33Aは、LED光のアレイ、例えば5×5のアレイに表示されている指標を示す。アレイは、器具に組み込まれているように示すが、代替的に、以前に導入したディスプレイ上に表示してもよい。LED光の選択的な照明は、手持ち部分のピッチ、ロール及びz軸位置が正確であるか又は所望の位置にあるとき、アレイの単一の中心に配置されたLED光が照明されるようなものであつてよい。そうでない場合は、照明されたLED光は、手持ち部分の姿勢の態様のうちのいずれの1つ以上が不正確であるかについて直感的な情報を提供する。手持ち部分のピッチ及びロールの逸脱は、照明されているLED光の完全な正方形に満たないことによって示してもよい。さらに、手持ち部分のピッチ及びロールの逸脱は、照明されたLED光がアレイの中心に配置されていないことによって示してもよい。上記決まりにより、図33A(1)は、手持ち部分がピッチ及びロールのうちのいずれか一方において逸脱していることを示す。言い換えると、LEDの完全な正方形に満たない部分が照明されているが、(ピッチ又はロールが正確である場合の)完全であるはずの正方形はアレイに中心合せされている。さらに、正方形の右下隅がないことは、ピッチ、ロール又は両方を修正するために、手持ち部分を右下方方向において概して調整する必要があることをユーザに示す。図33A(2)及び図33A(3)は、手持ち部分がピッチ及びロールの両方において逸脱していることを示す。照明されているLEDが完全な正方形でないだけでなく、完全であるはずの正方形の照明されているLEDがアレイに中心合せされていない。図33A(4)では、手持ち部分のピッチ及びロールは正確であるが、手持ち部分16はz軸又は高さにおいて逸脱している。器具14が上方又は下方に動かされ、手持ち部分が所望の平面に近づくと、図33A(4)～(6)に段階的に示すように、正方形のサイズが小さくなる。図33A(6)は、アレイの単一の中心合せされたLED光が照明されており、上述したように、手持ち部分のピッチ、ロール及びz軸位置が正確であるときを示す。

【0173】

図33Bは、正方形のアレイとは対照的に、徐々に照明される円を有する同様の配置を利用する。手持ち部分のピッチ及びロールの逸脱は、完全な円に満たない部分が照明され

ていることによって示してもよい。円の左下円弧がない図 3 3 B (1) は、ピッチ、ロール又は両方を修正するために、手持ち部分を左下方方向に概して調整する必要があることをユーザに示す。z 軸すなわち高さは、円を分岐する垂直線に沿ったドット又は他のマーキングの位置によって示してもよい。したがって、図 3 3 B (2) は、円が照明されているため、手持ち部分のピッチ及びロールは正確であるが、ドットが垂直線上で中心合せされていないため、z 軸において逸脱していることを示す。手持ち部分が上方又は下方に動かされると、ドットは円の中心に向かって移動する。図 3 3 B (3) は、円が照明され、ドットが円内の垂直線に沿って中心合せされている状態を示し、これは、手持ち部分のピッチ、ロール及び z 軸位置が正確であるときを示す。

【0174】

10

ここで図 3 4 を参照すると、視覚インジケータは、第 1 の視覚インジケータ 1 0 0 0、第 2 の視覚インジケータ 1 0 0 0'、第 3 の視覚インジケータ 1 0 0 0''、及び第 4 の視覚インジケータ 1 0 0 0''' を含んでもよい。図示するバージョンでは、視覚インジケータ 1 0 0 0、1 0 0 0'、1 0 0 0''、1 0 0 0''' のそれぞれは、制御システムに結合された 1 つ以上の照明源を含む。いくつかのバージョンでは、照明源は、異なる強度／色で照明することができる 1 つ以上の LED を含む。図 3 4 に示す視覚インジケータ 1 0 0 0、1 0 0 0'、1 0 0 0''、1 0 0 0''' は、柱状の構造であってもよく、ツール支持体 1 8 の上面から上方に延在している。視覚インジケータ 1 0 0 0、1 0 0 0'、1 0 0 0''、1 0 0 0''' は、図示するような矩形配置、又は正方形若しくは他の好適な配置で提供してもよい。視覚インジケータ 1 0 0 0、1 0 0 0'、1 0 0 0''、1 0 0 0''' の色、20 より詳細には視覚インジケータ 1 0 0 0、1 0 0 0'、1 0 0 0''、1 0 0 0''' 間の色の相違は、所望の平面に対する手持ち部分のピッチ及びロールを示してもよい。例えば、視覚インジケータ 1 0 0 0、1 0 0 0'、1 0 0 0''、1 0 0 0''' のうちの遠位側の 2 つが少なくとも主に黄色であり、視覚インジケータ 1 0 0 0、1 0 0 0'、1 0 0 0''、1 0 0 0''' のうちの近位側の 2 つが少なくとも主に赤色であることは、所望の切断面に対するピッチの逸脱を示してもよい。同様に、視覚インジケータ 1 0 0 0、1 0 0 0'、1 0 0 0''、1 0 0 0''' のうちの左側の 2 つが少なくとも主に黄色であり、視覚インジケータ 1 0 0 0、1 0 0 0'、1 0 0 0''、1 0 0 0''' のうちの右側の 2 つが少なくとも主に赤であることは、切断面に対するロールの逸脱を示してもよい。言い換えれば、視覚インジケータ 1 0 0 0、1 0 0 0'、1 0 0 0''、1 0 0 0''' のすべての色を同じにすることは、30 所望の切断面に対する手持ち部分の向きが正確であることを示してもよい。視覚インジケータ 1 0 0 0、1 0 0 0'、1 0 0 0''、1 0 0 0''' のうち 4 つ未満を照明して、ピッチ、ロール又は両方における逸脱を示してもよいことが企図される。視覚インジケータ 1 0 0 0、1 0 0 0'、1 0 0 0''、1 0 0 0''' の色（必ずしも色の相違ではない）は、所望の切断面に対する z 軸位置を示してもよい。例えば、視覚インジケータ 1 0 0 0、1 0 0 0'、1 0 0 0''、1 0 0 0''' が赤色又は黄色であることは、所望の切断面に対する z 軸位置の逸脱を示してもよく、視覚インジケータ 1 0 0 0、1 0 0 0'、1 0 0 0''、1 0 0 0''' が緑色であることは、手持ち部分が所望の位置にあることを示してもよい。合わせて、視覚インジケータ 1 0 0 0、1 0 0 0'、1 0 0 0''、1 0 0 0''' のそれぞれが同じ色、すなわち緑色であることは、手持ち部分がピッチ、ロール及び z 軸位置において正確 40 であることを表してもよい。

【0175】

図 3 5 A、図 3 5 B 及び図 3 5 C は、それぞれ、中心合せされたドットが正確な z 軸位置を示す、垂直線を含む表示画面を示す。図 3 5 A 及び図 3 5 B の指標は、中心点で垂直線と交差する水平線と、中心点と交差する弓形の線とを含む。指標は、所望の切断面に対するピッチ及びロールの位置を示す追加のドット又はマーキングを更に含んでもよい。より詳細には、水平線上のドットの水平位置は、所望の切断面に対するピッチを表してもよく、弓状線上のドットの位置は、所望の切断面に対するロールを表してもよい。弓状線の使用は、ロール、すなわち x 軸を中心とした回転の逸脱をもたらす動きを考慮すると、特に直感的である可能性がある。手持ち部分のピッチ、ロール及び z 軸位置が正確である場 50

合、ドットは交点に集まる。図 3 5 A は、手持ち部分がピッチ、ロール及び z 軸位置においてずれていることを表す。弓状線上のドットが水平線上のドットよりも交点から遠いため、ロールの逸脱はピッチの逸脱よりも大きい。図 3 5 B は、手持ち部分のピッチ及びロールは正確であるが、手持ち部分が z 軸位置において逸脱していることを表す。図 3 5 C は、指標が交点における単一ドットとして現れているため、手持ち部分がピッチ、ロール及び z 軸位置において正確であることを表す。

【 0 1 7 6 】

図 3 6 A ～図 3 6 C は、十字線を利用して、所望の切断面に対する任意の逸脱ピッチ、ロール及び z 軸位置を表す。十字線の水平線がピッチを表してもよく、十字線の垂直線がロールを表してもよい。水平線と垂直線との交点が、原点、例えば、図 3 6 A ～図 3 6 C に示す破線ボックスの中心に対する z 軸位置を表してもよい。水平線及び垂直線のうちの一方又は両方が徐々に太くなることは、ピッチの逸脱を示してもよい。したがって、図 3 6 A は、十字線の垂直線が遠近法で描かれ、十字線が回転しているため、手持ち部分がピッチ及びロールにおいて逸脱していることを表す。図 3 6 B は、十字線がボックス内に中心合せされていないため、手持ち部分が z 軸位置において逸脱していることを更に表す。図 3 6 B は、手持ち部分がピッチ及びロールにおいて正確であるが、z 軸位置において逸脱していることを表す。図 3 6 C は、手持ち部分がピッチ、ロール及び z 軸位置において正確であることを表す。図 3 6 C は、手持ち部分がすべての制御された自由度において所望の位置にある状態で、ボックスが変形していることも示す。

【 0 1 7 7 】

図 3 7 を参照すると、視覚インジケータ 1 1 0 0 は、第 1 の視覚インジケータ 1 1 0 2、第 2 の視覚インジケータ 1 1 0 4 及び第 3 の視覚インジケータ 1 1 0 6 を含んでもよい。図示する実施態様の視覚インジケータ 1 1 0 2、1 1 0 4、1 1 0 6 は、ツール支持体に結合され、前後方向に直線状に配置された、球形状の LED である。視覚インジケータ 1 1 0 0 は、第 4 の視覚インジケータ 1 1 0 8 及び第 5 の視覚インジケータ 1 1 1 0 を含んでもよい。図示する実施態様の視覚インジケータ 1 1 0 8、1 1 1 0 は、ツール支持体に結合された球形状の LED であり、直径が第 1 のインジケータ 1 1 0 2、第 2 のインジケータ 1 1 0 4 及び第 3 の視覚インジケータ 1 1 0 6 よりも相対的に小さい。視覚インジケータ 1 1 0 2、1 1 0 4、1 1 0 6、1 1 0 8、1 1 1 0 は、例えば、白色、青色、灰色、黒色等の単一色で照明するように構成してもよい。視覚インジケータ 1 1 0 2、1 1 0 4、1 1 0 6 は、所望の切断面に対する手持ち部分のピッチ及び z 軸位置を示すように指示してもよいが、視覚インジケータ 1 1 0 2、1 1 0 4、1 1 0 6 の組合せを使用する他の方式が企図される。第 4 の視覚インジケータ 1 1 0 8 及び第 5 の視覚インジケータ 1 1 1 0 は、所望の切断面に対する手持ち部分のロールを示すように指示し、したがって、第 1 の視覚インジケータ 1 1 0 2、第 2 の視覚インジケータ 1 1 0 4 及び第 3 の視覚インジケータ 1 1 0 6 の列の反対側に位置決めしてもよい。したがって、第 1 の視覚インジケータ 1 1 0 2、第 2 の視覚インジケータ 1 1 0 4 及び第 3 の視覚インジケータ 1 1 0 6 の左側に位置決めされた第 4 の視覚インジケータ 1 1 0 8 の或る一定の色での照明は、反時計回りのロールを示してもよく、第 1 の視覚インジケータ 1 1 0 2、第 2 の視覚インジケータ 1 1 0 4 及び第 3 の視覚インジケータ 1 1 0 6 の右側に位置決めされた第 5 の視覚インジケータ 1 1 1 0 の或る一定の色での照明は、時計回りのロールを示してもよい。第 1 の視覚インジケータ 1 1 0 2、第 2 の視覚インジケータ 1 1 0 4 及び第 3 の視覚インジケータ 1 1 0 6 について、1 つ以上をある一定の色で照明することは、ピッチ、高さ又は両方における逸脱を示してもよい。1 つの例では、最前方の視覚インジケータ 1 1 0 2 が青色になり、第 2 の視覚インジケータ 1 1 0 4 及び第 3 の視覚インジケータ 1 1 0 6 が黒色になり、それにより、ユーザに対して単一の焦点がもたらされるまで、手持ち部分を操作してもよい。

【 0 1 7 8 】

ここで図 3 8 を参照すると、視覚インジケータ 1 2 0 0 は、機械的な形態であってもよい。特に、視覚インジケータ 1 2 0 0 は、器具 1 4 の手持ち部分 1 6 と器具 1 4 のツール

支持体 18 とのそれぞれにある位置合せ機構を使用する。誘導アレイ 1200 が、ツール支持体 18 が手持ち部分 16 に対していかに位置決めされているかに関して、直感的で慣れた様式で、ユーザに視覚的フィードバックを与える。器具 14 が、ツール 20 が地面に対して平行に向けられている鋸刃である、矢状鋸である場合、器具 14 が公称位置又は「ホーム」ポジションにあるとき、手持ち部分 16 における後述する機構は、ツール 20 のものと同じ平面上にあってもよい。手持ち部分 16 に、レベラ 1210 が結合されている。レベラ 1210 は、凹部 1214 又は空隙によって分離された 2 つのプレート 1212 を含んでもよい。プレート 1212 は、互いに同一平面上に配置されている。レベラ 1210 は、ツール 20 がホームポジションにあるとき、ツール 20 がプレート 1212 に平行であるように、手持ち部分 16 に結合されている。1 つの例では、ツール 20 はプレート 1212 と同一平面上であってもよい。ピッチ及びロールの逸脱は、レベラ 1210 のプレート 1212 に対するツール 20 の相対的な向きに基づいて、視覚的に容易に確かめることができる。

10

【0179】

図 39 は、レベラ 1310 が手持ち部分 16 に結合されている、視覚インジケータ 1300 の別の実施態様を示す。レベラ 1310 は、ツール支持体 18 に隣接する照準器 1314 まで延在している、手持ち部分 16 に結合されたアーム 1312 を含む。照準器 1314 は、十字線が周囲に配置された開口部であってもよい。ツール支持体 18 にビーコン 1316 を結合し、ツール 20 がホームポジションにあるときに照準器 1314 と位置合せされるように配置してもよい。また、ビーコン 1316 は、照準器 1314 の十字線に位置合せされるように構成された十字線を含んでもよい。器具 14 の操作中にツール 20 及びツール支持体 18 が手持ち部分 16 に対して移動すると、ビーコン 1316 は照準器 1314 に対して移動することが理解される。器具 14 が上述したように所望の切断面を維持している状態で、ユーザは、ビーコン 1316 を照準 1314 と位置合せするように手持ち部分 16 を操作することができる。

20

【0180】

図 40 は、視覚インジケータ 1400 の別の実施態様を有する器具 14 の別の概略図を示す。視覚インジケータ 1400 は、手持ち部分 16 に結合された少なくとも 1 つのアーム 1402 を含む。図示する実施態様は、任意選択的に星状パターンに等角で配置された複数のアーム 1402 を含む。視覚インジケータ 1400 は、ツール支持体 18 に結合された少なくとも 1 つのフォーク 1408 を含み、図示する実施態様は、アーム 1402 の星状パターンと相補的な星状パターンに等角で配置された他のアーム 1404 の端部に、5 つのフォーク 1408 を含む。各アーム 1402 の端部には、ツール 20 がホームポジションにあるときにフォーク 1408 のタイン間に位置するように構成された、幾何学的構造体 1460、例えば球体がある。より詳細には、幾何学的構造体 1406 は、ツール 20 がホームポジションにあるときに、フォーク 1408 の対向するタインと同一平面上にあるとともに、そこから等しく離隔してもよい。この場合もまた、ツール 20 及びツール支持体 18 は、器具 14 の操作中に手持ち部分 16 に対して相対的に移動する。幾何学的構造体 1406 は、フォーク 1408 に対して移動する。位置合せされなくなることは、ユーザにとって視覚的に容易に明らかであり、ユーザは、フォーク 1408 と幾何学的構造体 1406 を再度位置合せするように手持ち部分 16 を操作してもよい。

30

40

【0181】

図 41 を参照すると、ツール支持体 18 に隣接する手持ち部分 16 内に窓 1502 が配置されている視覚インジケータ 1500 を有する、器具 14 の別の概略図を示す。より具体的には、ツール支持体 18 の近位端は、窓 1502 を通して見ることができる。手持ち部分 16 及びツール支持体 18 の近位端 230 は、ツール 20 がホームポジションにあるときに位置合せされるように構成された相補的なマーキングを含んでもよい。ツール支持体 18 の近位端のマーキングは、水平線であってもよく、手持ち部分 16 のマーキングは、窓 1502 に隣接する対向する突起であってもよい。ツール 20 がホームポジションにある状態では、水平線と対向する突起とは同一平面上にある。ツール 20 及びツール支持

50

体 1 8 が手持ち部分 1 6 に対して相対的に移動するとすれば、相補的なマーキングは位置合せされなくなる。

【0182】

図 4 2 A を参照すると、表示画面上に別の例示的な視覚インジケータ 1 6 0 0 が示されている。これは、上述したものと同様の並進指標 1 6 0 2 を含み、ピッチ及びロール指標 1 6 0 4 に対して異なるように視覚化されている。円及び十字線はそれぞれ、ピッチ値、ロール値又は両方、及び実際の偏差ベクトルの角度に基づいて、互いに対して移動してもよい。同様に、実際の偏差ベクトル又は可動域ベクトルの大きさ、方向又は両方に基づいて、円又は十字線の位置を制御してもよいことが企図される。

【0183】

図 4 2 B を参照すると、視覚インジケータ 1 7 0 0 は、互いに交差する視覚インジケータ 1 7 0 2、1 7 0 4、1 7 0 6 の 3 つの線形配置を含んでもよい。視覚インジケータの各セグメントの色、より詳細には視覚インジケータ間の色の相違は、所望の切断面に対するツール 2 0 のピッチ及びロールを示してもよい。図 2 9 及び図 3 0 に関して上述した様式で、複数の光源を制御してもよい。ツール支持体に視覚インジケータ 1 7 0 0 を結合してもよい。

【0184】

図 4 2 C を参照すると、別の例示的な視覚インジケータ 1 8 0 0 が示されている。十字線の位置は、手持ち部分のピッチ、ロール又は両方に基づいて変化してもよい。図 2 4、図 2 6 及び図 2 7 に関して上述したピッチロール指標と同じ様式で、十字線の位置を制御してもよい。

【0185】

器具コントローラ 2 8 は、入力デバイス（例えば、フットスイッチ、トリガ、マウスクリック、又はナビゲーション UI 3 8 上のタッチスクリーン押下等）の作動等、入力信号に基づいて、視覚インジケータを有効にするように切り替えてもよい。代替的に、器具コントローラ 2 8 は、ツール 2 0 の位置と、患者トラック 5 4、5 6 等、既知の座標系における骨の基準場所の位置とに基づいて、視覚インジケータを有効にするように構成してもよい。基準場所は、標的対象等、標的状態に対して器具 1 4 を位置付けるために使用される座標系における点、表面又は体積であってもよい。1 つの特定の実施態様では、基準場所は、骨の計画された進入部である。例えば、基準場所は、骨の表面、骨内の点、既知の座標系内の想像又は仮想点、座標系における体積、又はそれらの組合せであってもよい。基準場所の位置又は向きは、レジストレーション及び好適な計画ステップを通して患者トラックに関して既知である。器具コントローラ 2 8 は、ツールと基準場所との間の距離等、2 つの対象間で計算された距離パラメータに基づいて、モードを切り替えるか、又は異なるように動作してもよい。距離パラメータは、距離（例えば、2 つの対象がどれくらい離れているか）、大きさ（1 つの対象に対する距離の方向）、又はその両方であってもよい。いくつかの例では、器具コントローラ 2 8 は、距離パラメータが骨から離れる方向と第 1 の閾値よりも大きい大きさを有するとき、モードを切り替えてもよい。

【0186】

以下の定義を含む本出願では、「コントローラ」という用語は、「回路」という用語で置き換えることができる。「コントローラ」という用語は、特定用途向け集積回路（ASIC）、デジタル、アナログ、又は混合アナログ／デジタルディスプレイ回路、デジタル、アナログ、又は混合アナログ／デジタル集積回路、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、又はグループ）、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、又はグループ）、説明された機能を提供する他の好適なハードウェア構成要素、又はシステムオンチップ等における上記の一部又は全ての組み合わせを指すか、その一部であるか、又はそれを含み得る。

【0187】

（複数の場合もある）コントローラ／制御システムは、1 つ以上のインタフェース回路

10

20

30

40

50

を含み得る。いくつかの例では、（複数の場合もある）インタフェース回路は、ローカルエリアネットワーク（LAN）又は無線パーソナルエリアネットワーク（WPAN）に接続する有線又は無線インタフェースを実装してもよい。LANの例は、電気電子技術者協会（IEEE）規格802.11-2016（WIFI無線ネットワーク規格としても既知である）及びIEEE規格802.3-2015（ETHERNET有線ネットワーク規格としても既知である）である。WPANの例は、Bluetooth Special Interest GroupのBLUETOOTH無線ネットワーク規格及びIEEE規格802.15.4である。

【0188】

コントローラは、（複数の場合もある）インタ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、他のコントローラと論理的に直接通信するものとして本明細書で描写され得るが、様々な構成において、コントローラは、実際には、通信システムを介して通信してもよい。通信システムは、ハブ、スイッチ、ルータ、及びゲートウェイ等の物理及び／又は仮想ネットワーク機器を含む。いくつかの構成において、通信システムは、インターネット等のワイドエリアネットワーク（WAN）に接続するか、又はそれを横断する。例えば、通信システムは、マルチプロトコルラベルスイッチング（MPLS）及び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、インターネット又はポイントツーポイント専用回線を介して互いに接続された複数のLANを含み得る。

【0189】

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に分散されてもよい。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てもよい。更なる例では、コントローラの機能は、サーバ（リモート又はクラウドとしても既知である）コントローラとクライアント（又はユーザ）コントローラとの間で分割することができる。

【0190】

コントローラの一部又は全てのハードウェア機能は、ハードウェア記述のための言語、例えばIEEE規格1364-2005（概して「Verilog」と称される）及びIEEE規格10182-2008（概して「VHDL」と称される）等を使用して定義することができる。ハードウェア記述言語は、ハードウェア回路を製造及び／又はプログラムするために使用され得る。いくつかの構成において、コントローラの一部又は全ての特徴は、以下で説明するコードとハードウェア記述との両方を包含するIEEE1666-2005（概して「SystemC」と称される）等の言語によって定義され得る。

【0191】

様々なコントローラプログラムは、メモリ回路に記憶されていてもよい。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。コンピュータ可読媒体という用語は、本明細書で使用される場合、（搬送波上等の）媒体を通して伝搬する一時的な電気信号又は電磁信号を包含しない。したがって、コンピュータ可読媒体という用語は、有形かつ非一時的とみなされ得る。非一時的コンピュータ可読媒体の非限定的な例は、不揮発性メモリ回路（フラッシュメモリ回路、消去可能プログラマブル読み出し専用メモリ回路、又はマスク読み出し専用メモリ回路等）、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又はダイナミックランダムアクセスメモリ回路等）、磁気記憶媒体（アナログ若しくはデジタル磁気テープ又はハードディスクドライブ等）、及び光記憶媒体（CD、DVD、又はBlu-rayディスク等）である。

【0192】

本出願で説明される装置及び方法は、コンピュータプログラムで具現化される1つ以上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、部分的に又は完全に実装され得る。上述した機能ブロック及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、熟練技術者又はプログラマのルーチン作業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。

【0193】

コンピュータプログラムは、少なくとも1つの非一時的コンピュータ可読媒体に記憶されたプロセッサ実行可能命令を含む。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、又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とインタラクトする基本入出力システム（BIOS）、専用コンピュータの特定のデバイスとインタラクトするデバイスドライバ、1つ以上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等を包含することができる。

【0194】

コンピュータプログラムとして、(i) HTML（ハイパーテキストマークアップ言語）、XML（拡張可能マークアップ言語）、又はJSON（JavaScript Object Notation）等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るオブジェクトコード、(iv) インタプリタによる実行の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るコンパイル及び実行のためのソースコード等が挙げられ得る。単なる例として、ソースコードは、C、C++、C#、Objective C、Swift、Haskell、Go、SQL、R、Lisp、Java（商標）、Fortran、Perl、Pascal、Curl、OCaml、JavaScript（商標）、HTML5（ハイパーテキストマークアップ言語5th revision）、Ada、ASP（Active Server Pages）、PHP（Hypertext Preprocessor）、Scala、Eiffel、Smalltalk、Erlang、Ruby、Flash（商標）、Visual Basic（商標）、Lua、MATLAB、SENSORLINK、及びPython（商標）を含む言語からの構文を使用して記述することができる。

【0195】

項目I．鋸刃と共に使用される手持ち式ロボットシステムの視覚的指標（a visual indicia）を制御する方法であって、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と手持ち部分に移動可能に結合されて鋸刃を支持する刃支持体とを含む手持ち式器具と、刃支持体と手持ち部分とを作動的に相互接続し、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み、刃支持体は鋸駆動モータを含むものであり、既知の座標系において第1の自由度における手持ち部分の位置又は向きを決定するステップと、第1の自由度における手持ち部分の位置又は向きに基づき、第2の自由度における刃支持体の可動域を決定するステップと、既知の座標系において第2の自由度における手持ち部分の位置及び／又は向き（位置又は向きあるいはそれらの両方）を決定するステップと、第2の自由度における手持ち部分の位置及び／又は向きと可動域とに基づき視覚的指標を制御するステップとを含んでなる、手持ち式ロボットシステムの視覚的指標を制御する方法。

【0196】

項目II．ツールと共に使用される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及び手持ち部分に結合されており、ツールの運動を駆動するツール駆動モータを備えるツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分とを作動的に相互接続して、ツールを手持ち部分に対して複数の自由度で動かしてツールを位置合せするようにツール支持体を動かすための、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備える器具と、ユーザを誘導する視覚インジケータと、複数のアクチュエータに結合された制御システムであって、既知の座標系において第1の自由度及び第2の自由度における手持ち部分の位置及び／又は向きを決定し、第1の自由度及び第2の自由度における手持ち部分の位置及び／又は向きと、第1の自由度及び第2の自由度における手持ち部分に対するツール支持体の可動域とに基づき視覚インジケータを制御するように構成されている制御システムとを備えてなる手持ち式ロボットシステム。

【0197】

項目III．鋸刃と共に使用される手持ち式ロボットシステムの視覚的指標を制御する

方法であって、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及び手持ち部分に移動可能に結合されて鋸刃を支持する刃支持体とを含む手持ち式器具と、刃支持体と手持ち部分とを作動的に相互接続し、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み、刃支持体は鋸駆動モータを含み、方法は、既知の座標系において手持ち部分の第1の姿勢を決定するステップと、第1の姿勢に基づき第1の自由度における第1の可動域を決定するステップと、既知の座標系において手持ち部分の第2の姿勢を決定するステップと、第2の姿勢に基づき第1の自由度における第2の可動域を決定するステップであって、第1の可動域と第2の可動域とは異なり、第1の姿勢と第2の姿勢とは異なる、ステップと、第1の自由度における第1の姿勢に基づき手持ち部分の第1の位置及び／又は向きを決定し、第1の位置及び／又は向きと第1の可動域とに基づき視覚的指標を制御するステップと、第1の自由度における第2の姿勢に基づき手持ち部分の第2の位置及び／又は向きを決定し、第2の位置及び／又は向きと第2の可動域とに基づき視覚的指標を制御するステップとを含んでなる、手持ち式ロボットシステムの視覚的指標を制御する方法。

10

【0198】

項目IV．手術ツールと共に使用される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及び手持ち部分に結合されており、ツールの運動を駆動するツール駆動モータを備えるツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分とを作動的に相互接続して、ツールを手持ち部分に対して複数の自由度で動かすようにツール支持体を動かすための、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備える器具と、手持ち部分を配置すべき場所にユーザを誘導する視覚インジケータと、複数のアクチュエータ及び視覚インジケータに結合された制御システムであって、既知の座標系において第1の自由度におけるツール支持体及び／又は手持ち部分の位置及び／又は向きを決定し、第1の自由度におけるツール支持体及び／又は手持ち部分の位置及び／又は向きに基づき、第2の自由度におけるツール支持体の可動域を決定し、既知の座標系において第2の自由度におけるツール支持体及び／又は手持ち部分の位置及び／又は向きを決定し、第2の自由度における手持ち部分及び／又はツール支持体の位置及び／又は向きと可動域とに基づき視覚インジケータを制御するように構成されている制御システムとを備えてなる手持ち式ロボットシステム。

20

【0199】

項目V．手術ツールと共に使用される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及び手持ち部分に結合されており、ツールの運動を駆動するツール駆動モータを備えるツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分とを作動的に相互接続して、ツールを手持ち部分に対して複数の自由度で動かすようにツール支持体を動かすための、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備える器具と、手持ち部分を配置すべき場所にユーザを誘導する視覚インジケータと、複数のアクチュエータ及び視覚インジケータに結合された制御システムであって、既知の座標系においてツール支持体の第1の姿勢を決定し、第1の姿勢に基づき第1の自由度における第1の可動域を決定し、既知の座標系においてツール支持体の第2の姿勢を決定し、第2の姿勢に基づき第1の自由度における第2の可動域を決定し、第1の可動域と第2の可動域とは異なり、第1の姿勢と第2の姿勢とは異なり、第1の自由度における第1の姿勢に基づきツール支持体の第1の位置及び／又は向きを決定し、第1の位置及び／又は向きと第1の可動域とに基づき視覚インジケータを制御し、第1の自由度における第2の姿勢に基づきツール支持体の第2の位置及び／又は向きを決定し、第2の位置及び／又は向きと第2の可動域とに基づき視覚インジケータを制御するように構成されている制御システムとを備えてなる手持ち式ロボットシステム。

30

40

【0200】

本明細書を通して、特定の自由度とともに、或る一定の指標、例えば、ピッチロール指標について記載している。全体を通して記載する指標のいずれも、ヨー、x軸並進又はy軸並進等の他の自由度における位置及び／又は向きを同様の方法で示すために使用するこ

50

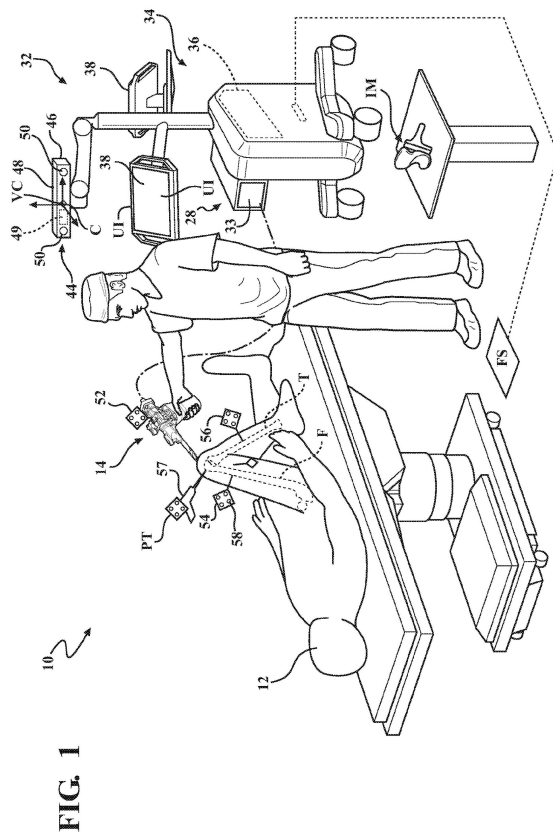
とができることが理解されるべきである。使用するアクチュエータアセンブリと、手持ち部分に対するツールの動きに利用可能な自由度とに応じて、これらの他の自由度の位置及び／又は向きを伝えることが有用である可能性がある。

【0201】

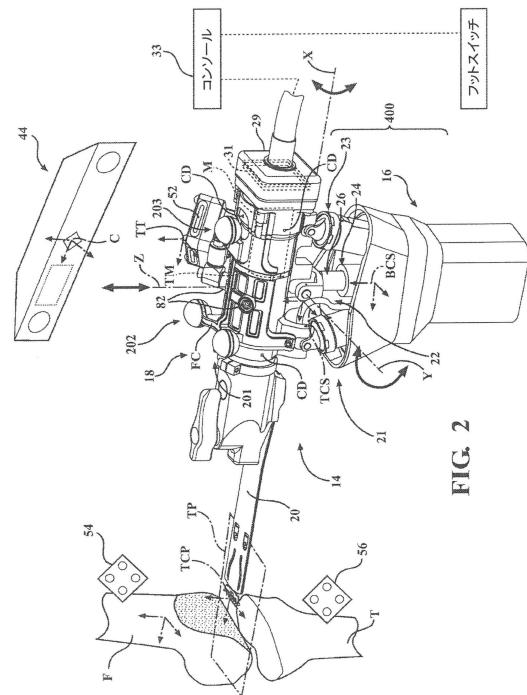
また、本明細書で請求する制御システムのいずれも、後述する特徴のうちの1つ以上を有していてもよい。制御システムは、既知の座標系において、鋸刃の姿勢、手持ち部分の姿勢、鋸刃の目標姿勢、及び境界を決定し、手持ち部分の姿勢及び鋸刃の目標姿勢に基づいて、複数の制御された自由度において鋸刃を位置合せするように複数のアクチュエータを制御するように、更に構成してもよい。目標姿勢は、少なくとも3自由度で画定される目標平面であってもよい。境界は、境界メッシュであってもよく、鋸駆動モータを制御することは、鋸駆動モータのモータパラメータを第1の値及び第2の値で制御することを含み、第1の値は、第2の値とは異なり、コントローラは、境界メッシュに基づくとともに鋸刃の姿勢に基づいて第1の値から第2の値に動作を変更するように動作可能である。モータパラメータは、速度、トルク、電流、加速度又はそれらの組合せを含む群から選択してもよい。制御システムは、鋸刃の一部及び境界に関する距離パラメータを決定し、鋸駆動モータを制御することはその距離パラメータに基づく。制御システムは、複数のアクチュエータのうちのアクチュエータのそれぞれの位置を決定し、鋸刃の姿勢及び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ように構成してもよい。制御システムは、既知の座標系において刃支持体に結合されたトラックの姿勢を決定し、既知の座標系において刃支持体に結合されたトラックの姿勢に基づいて鋸刃の姿勢を決定するように構成してもよい。制御システムはまた、既知の座標系において手持ち部分に結合されたトラックの姿勢を決定し、既知の座標系において手持ち部分に結合されたトラックの姿勢に基づいて手持ち部分の姿勢を決定するように構成してもよい。

【図面】

【図1】



【図2】



10

20

30

40

50

【図 3 A】

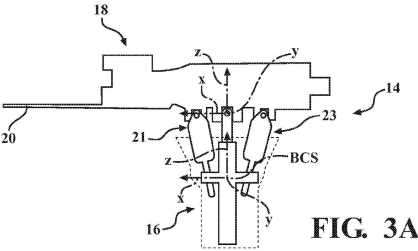


FIG. 3A

【図 3 B】

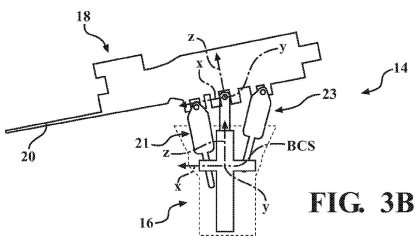


FIG. 3B

【図 3 C】

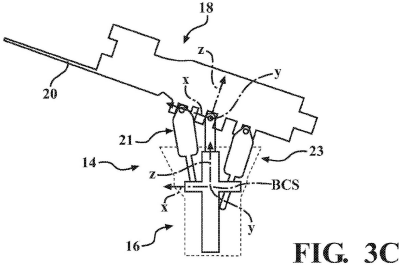


FIG. 3C

【図 4 A】

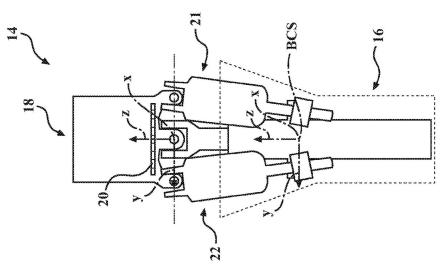


FIG. 4A

【図 4 B】

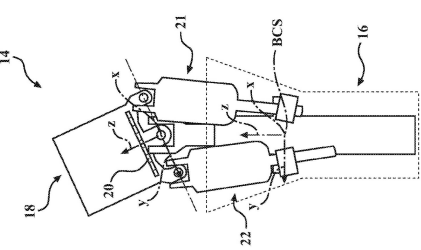


FIG. 4B

【図 4 C】

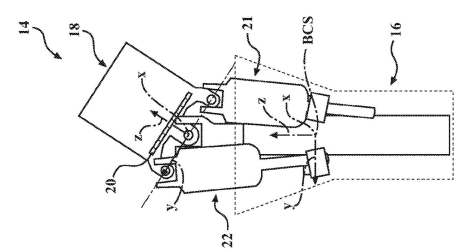


FIG. 4C

10

20

30

40

50

【図 5 A】

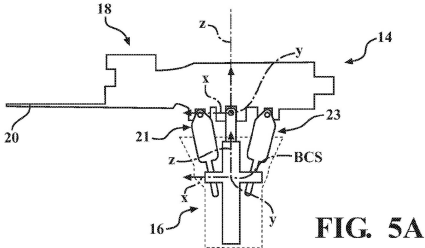


FIG. 5A

【図 5 B】

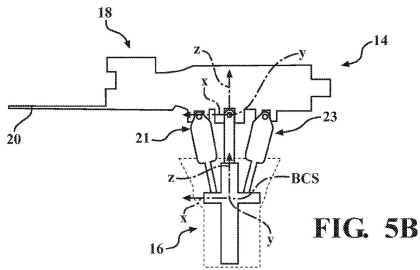


FIG. 5B

【図 5 C】

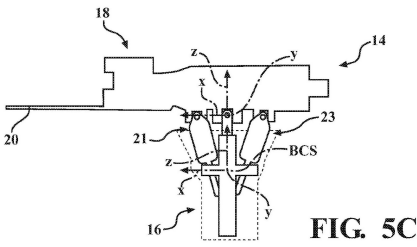


FIG. 5C

【図 6】

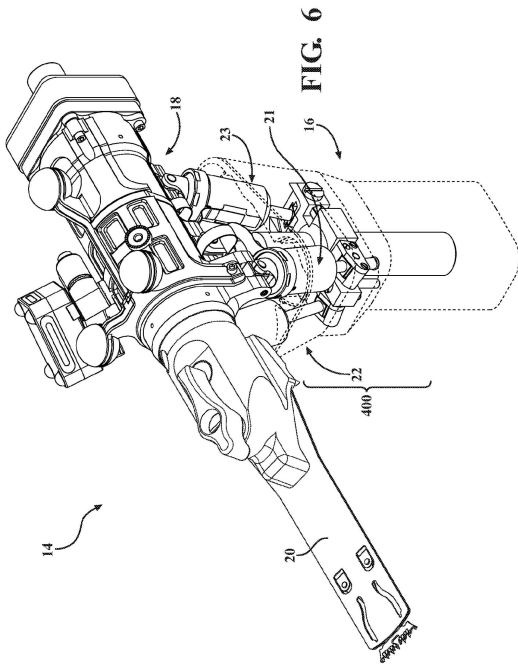


FIG. 6

10

20

30

40

50

【図 7】

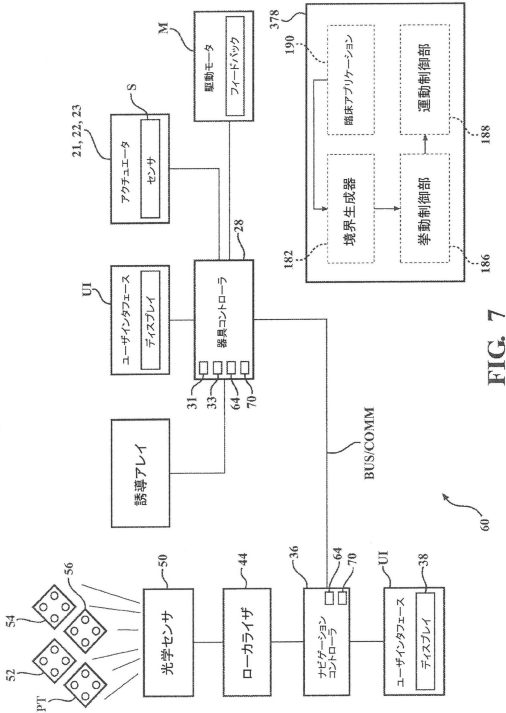


FIG. 7

【図 8】

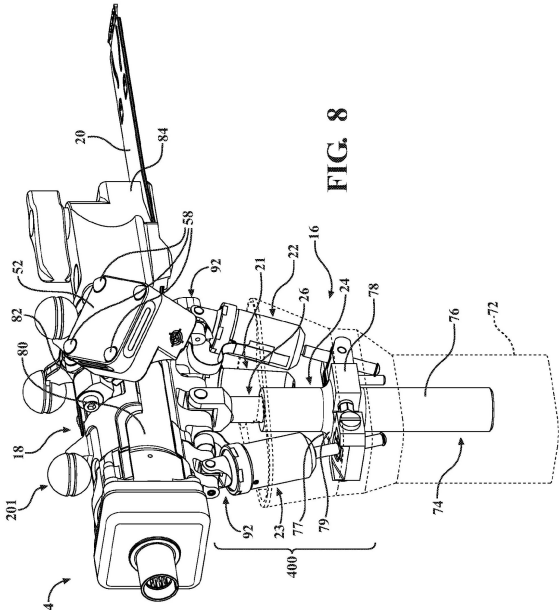


FIG. 8

【図 9】

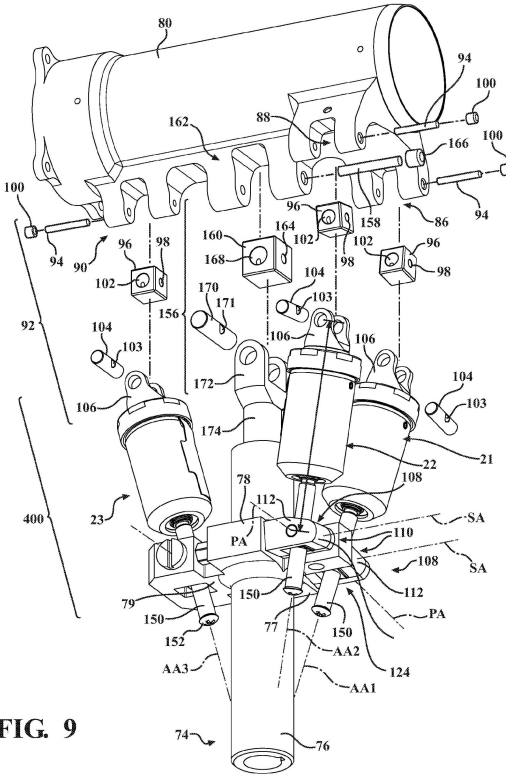


FIG. 9

【図 10】

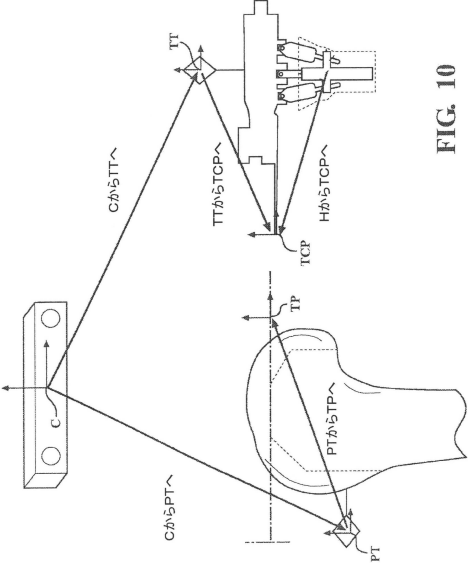


FIG. 10

10

20

30

40

50

【図 1 1】

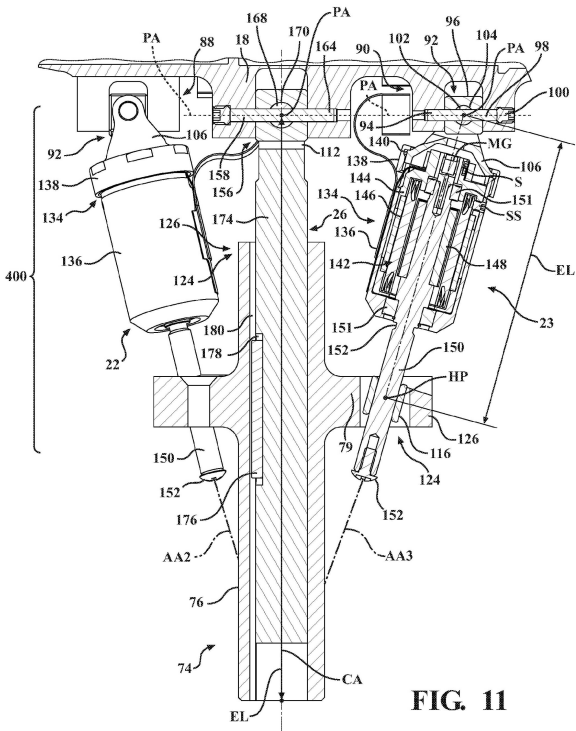


FIG. 11

【図 1 2】

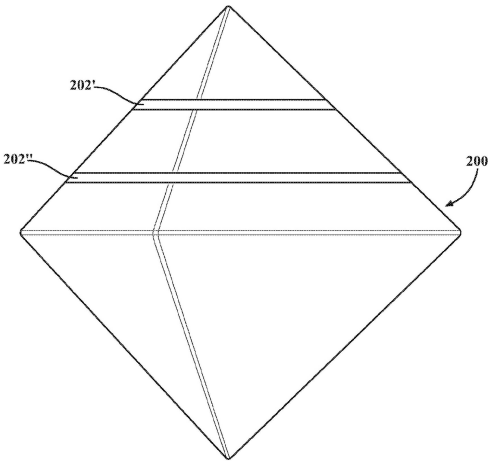


FIG. 12

【図 1 3】

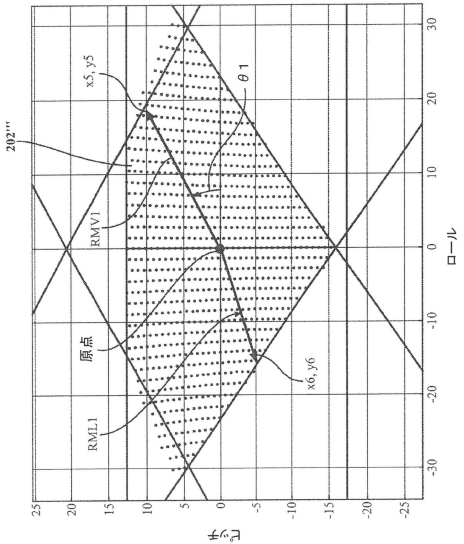


FIG. 13

【図 1 4】

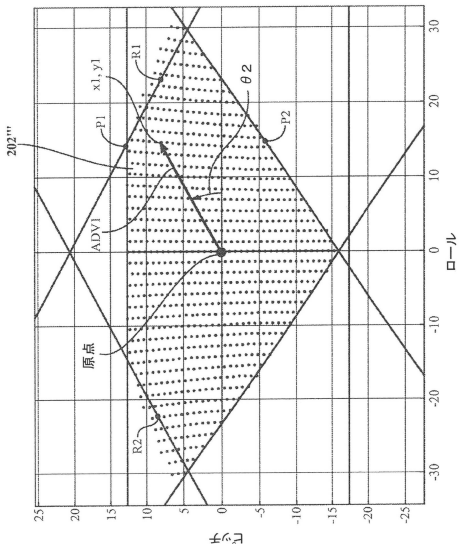


FIG. 14

【図 15】

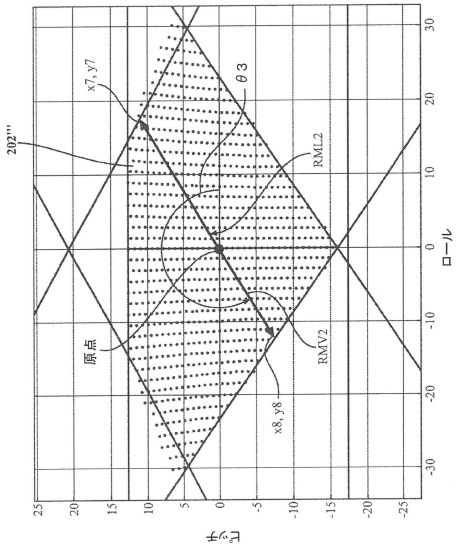


FIG. 15

【図 16】

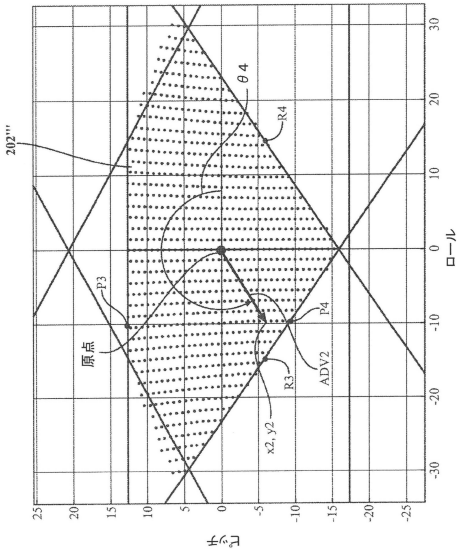


FIG. 16

【図 17】

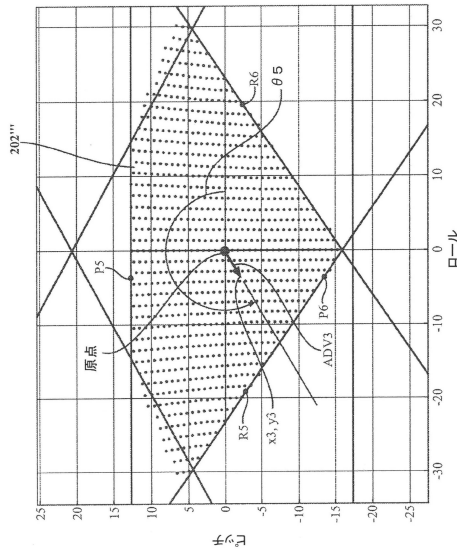


FIG. 17

【図 18】

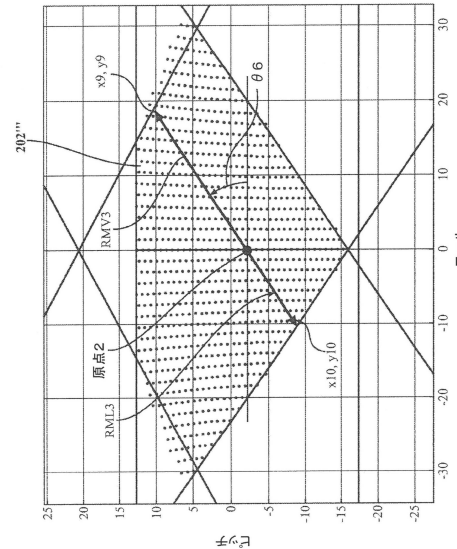


FIG. 18

【図 19】

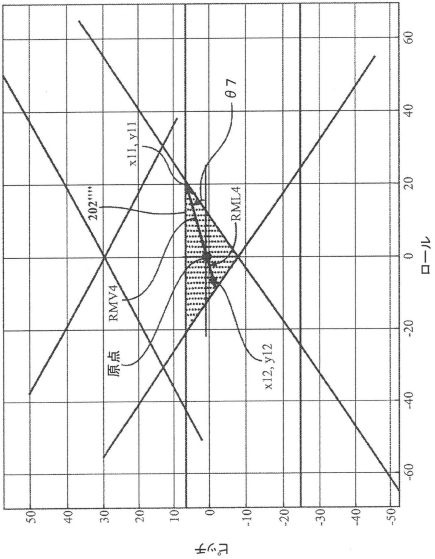


FIG. 19

【図 20】

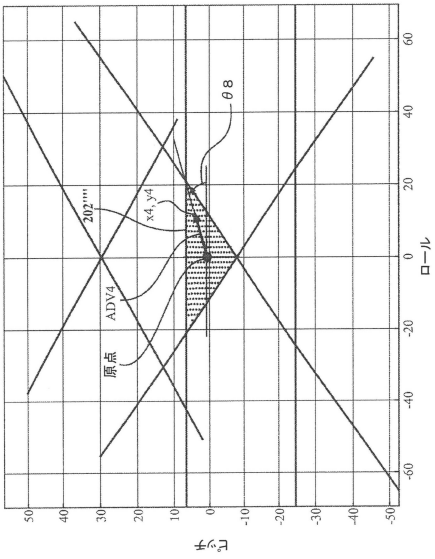


FIG. 20

【図 21】

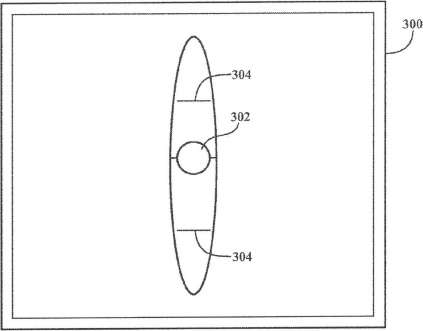


FIG. 21

【図 22】

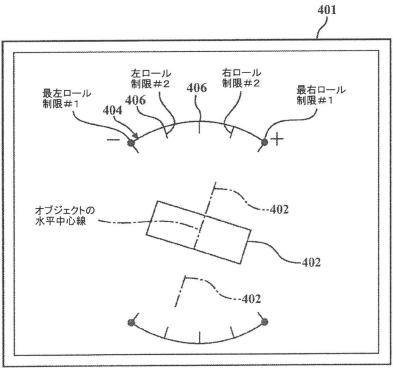


FIG. 22

10

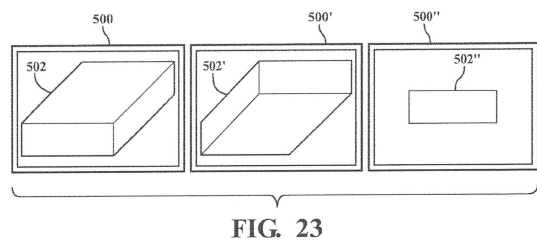
20

30

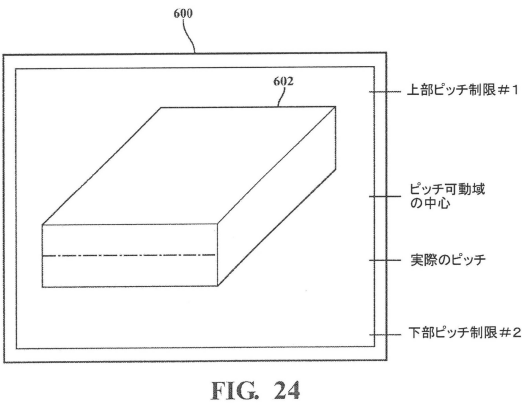
40

50

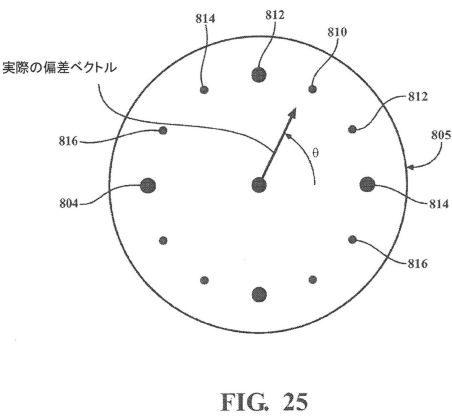
【図 2 3】



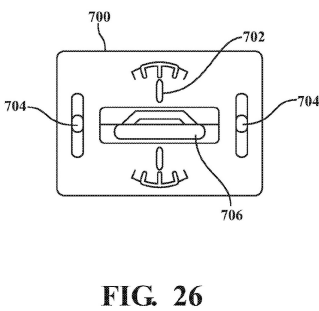
【図 2 4】



【図 2 5】



【図 2 6】



10

20

30

40

50

【図 27 A】

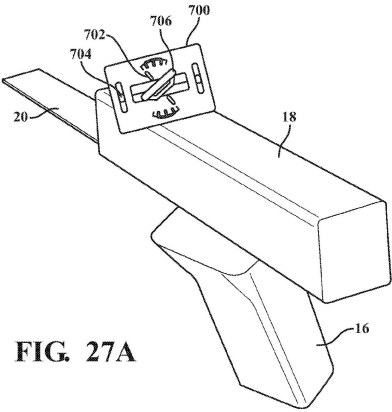


FIG. 27A

【図 27 B】

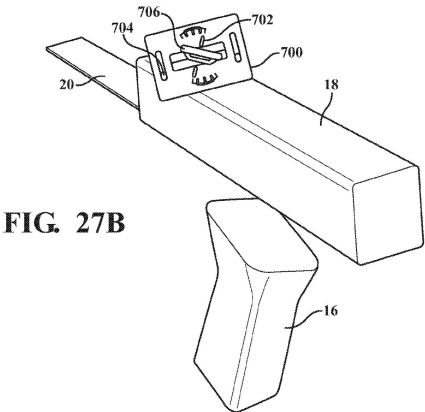


FIG. 27B

【図 27 C】

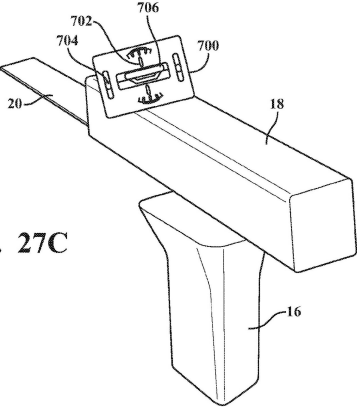


FIG. 27C

【図 28】

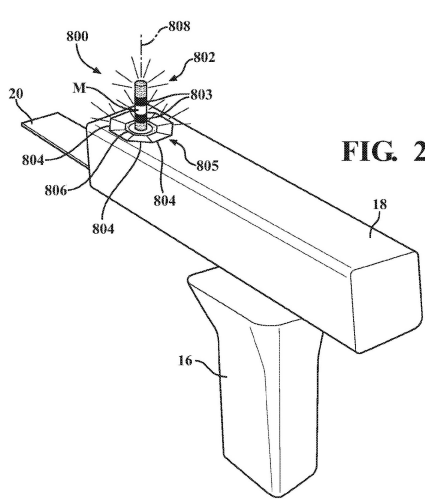


FIG. 28

10

20

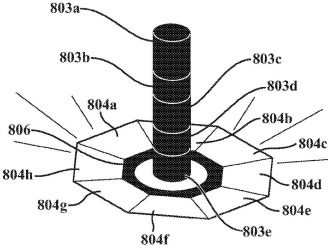
30

40

50

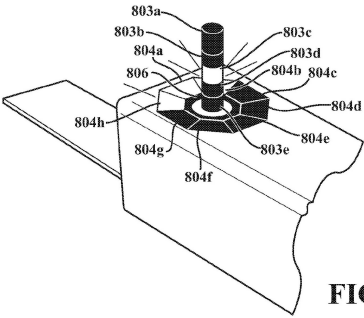
【図 29 A】

FIG. 29A



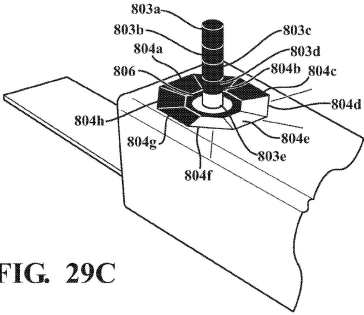
【図 29 B】

FIG. 29B



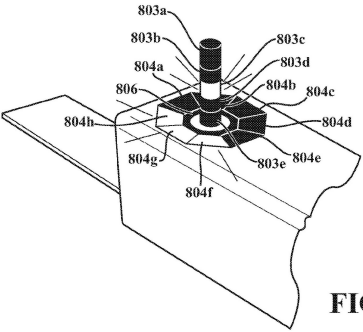
【図 29 C】

FIG. 29C



【図 29 D】

FIG. 29D



10

20

30

40

50

【図 29 E】

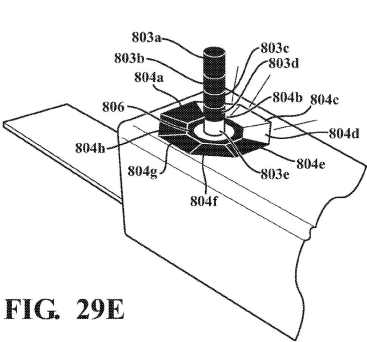


FIG. 29E

【図 29 F】

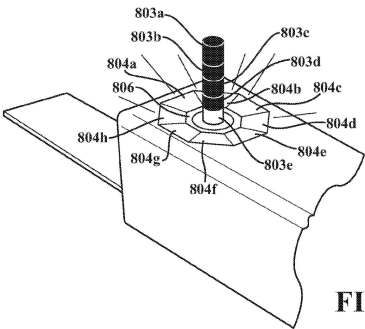


FIG. 29F

10

【図 29 G】

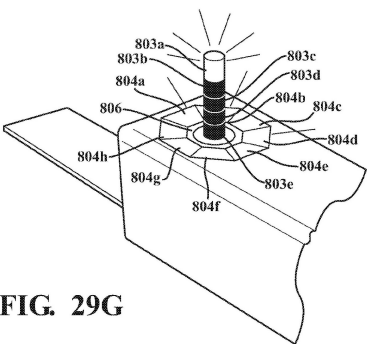


FIG. 29G

【図 30 A】

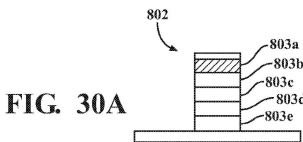


FIG. 30A

20

【図 30 B】

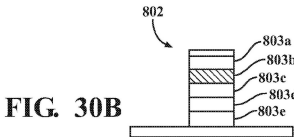


FIG. 30B

【図 30 C】

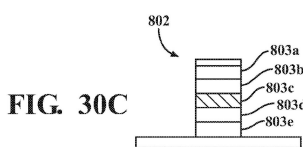


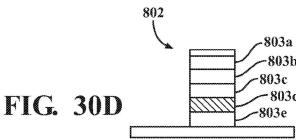
FIG. 30C

30

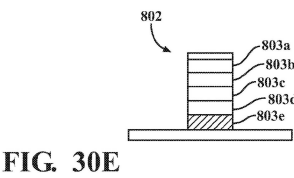
40

50

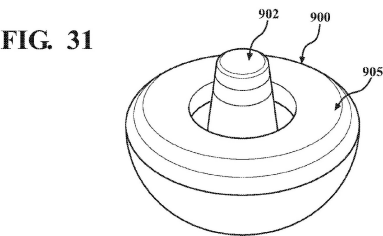
【図 3 0 D】



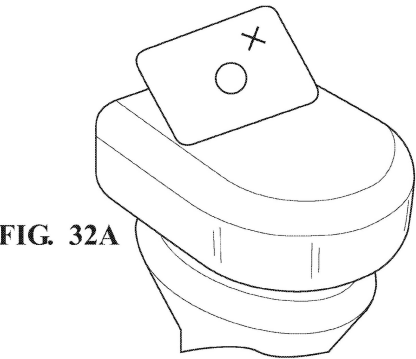
【図 3 0 E】



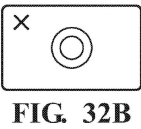
【図 3 1】



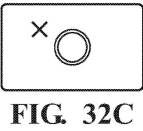
【図 3 2 A】



【図 3 2 B】



【図 3 2 C】



10

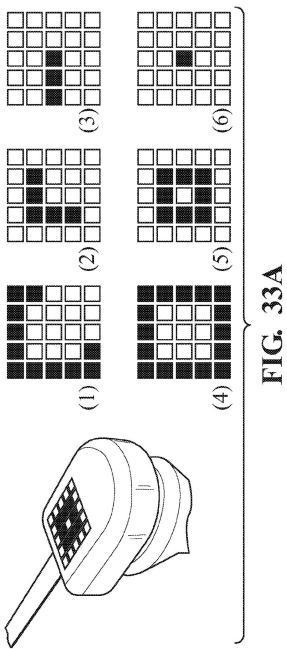
20

30

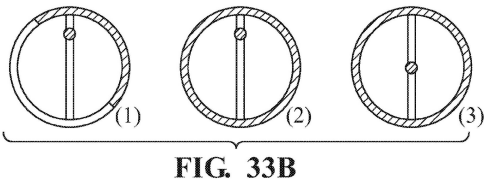
40

50

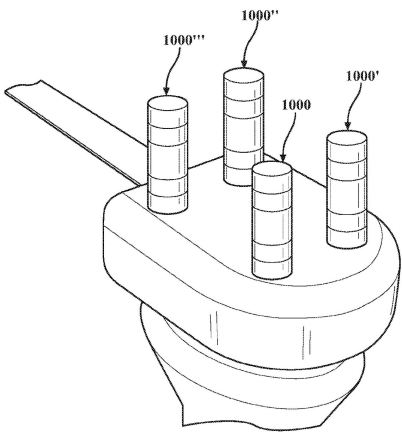
【図 3 3 A】



【図 3 3 B】



【図 3 4】



【図 3 5 A】

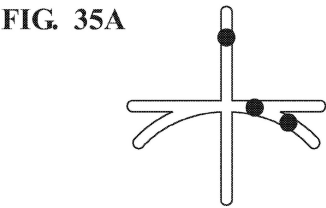


FIG. 34

FIG. 35A

10

20

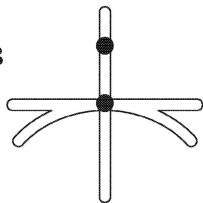
30

40

50

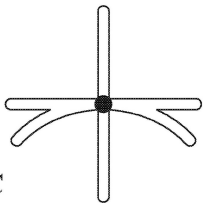
【図 3 5 B】

FIG. 35B



【図 3 5 C】

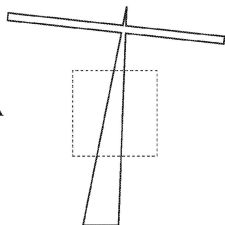
FIG. 35C



10

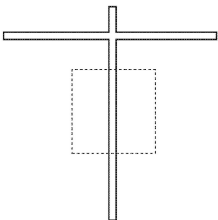
【図 3 6 A】

FIG. 36A



【図 3 6 B】

FIG. 36B



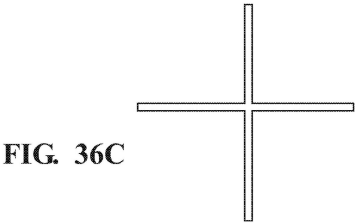
20

30

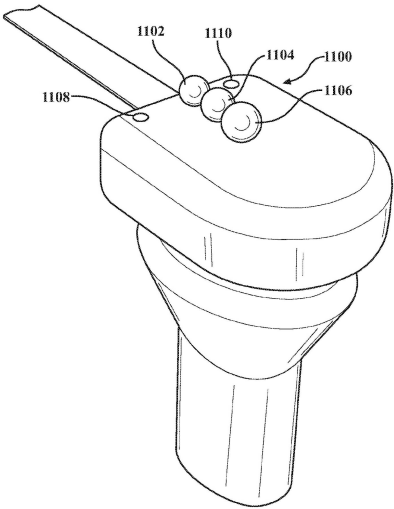
40

50

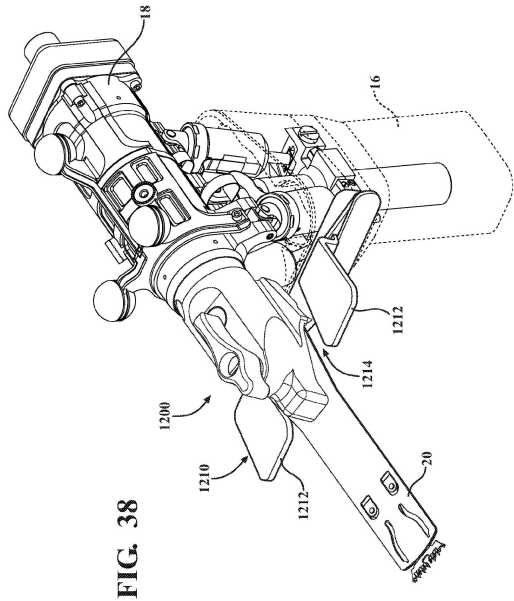
【図 3 6 C】



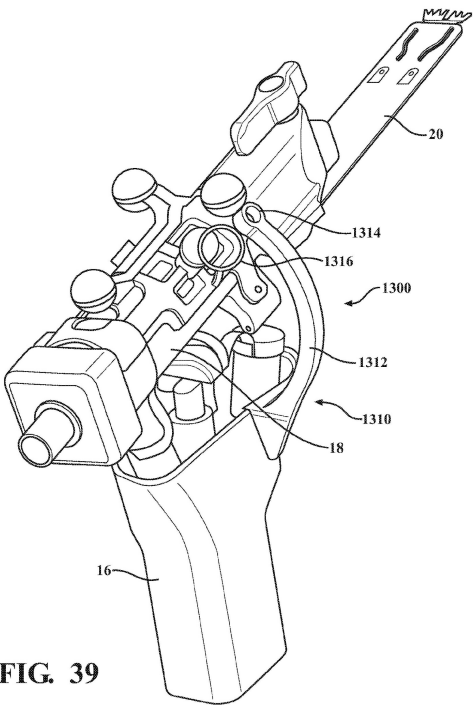
【図 3 7】



【図 3 8】



【図 3 9】



10

20

30

40

50

【図 4 0】

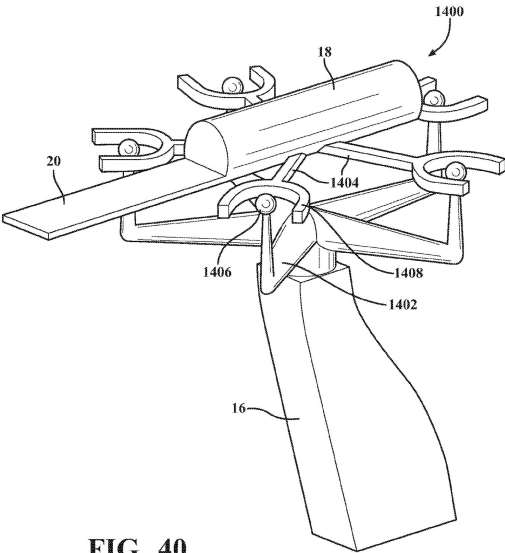


FIG. 40

【図 4 1】

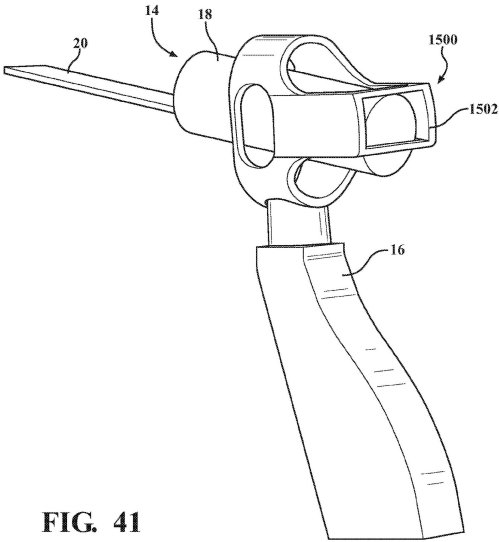


FIG. 41

【図 4 2 A】

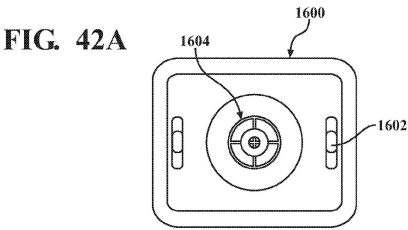


FIG. 42A

【図 4 2 B】

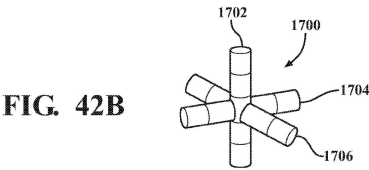


FIG. 42B

10

20

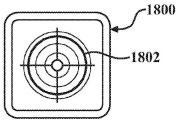
30

40

50

【図 4 2 C】

FIG. 42C



10

20

30

40

50

【手続補正書】

【提出日】令和4年10月5日(2022.10.5)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

ユーザが保持する手持ち部分及び該手持ち部分に結合されており、手術ツールの運動を駆動するツール駆動モータを備えるツール支持体と、該ツール支持体と前記手持ち部分とを作動的に相互接続して、前記手術ツールを前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かすように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を含むアクチュエータアセンブリとを備える器具と、

前記手持ち部分を配置すべき場所に前記ユーザを誘導する視覚インジケータと、

前記複数のアクチュエータ及び前記視覚インジケータに結合された制御システムであって、既知の座標系において第1の自由度における前記手持ち部分の位置、向き又はそれらの組合せを決定し、前記第1の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きに基づき、第2の自由度における前記ツール支持体の可動域を決定し、前記既知の座標系において前記第2の自由度における前記手持ち部分の位置又は向きを決定し、前記第2の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きと前記可動域とに基づき前記視覚インジケータを制御するように構成されている制御システムと

を備えてなる手術ツールと共に使用される手持ち式ロボットシステム。

【請求項2】

前記制御システムは、前記第1の自由度での前記手持ち部分の前記位置又は向きに基づき、第3の自由度における前記ツール支持体の可動域を決定し、前記既知の座標系において前記第3の自由度における前記手持ち部分の位置又は向きを決定し、前記第2の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きと前記可動域とに基づくとともに、前記第3の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きと前記可動域とに基づき、前記視覚インジケータを制御するように更に構成されている、請求項1に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項3】

前記制御システムは、前記第1の自由度における前記手持ち部分の前記位置に基づくとともに、前記手持ち部分に対する前記ツール支持体の3次元作業空間を表すデカルトモデルに基づき、前記第2の自由度における前記ツール支持体の前記可動域を決定するように更に構成されている、請求項2に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項4】

前記モデルは、複数のロール値、ピッチ値及び高さ値によって定義される、請求項3に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項5】

前記ツール支持体の前記3次元作業空間を表す前記モデルは、経験的データから導出される、請求項3又は4に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項6】

前記制御システムは、前記既知の座標系において前記手持ち部分の姿勢を決定するように構成され、前記制御システムは、前記手持ち部分の前記姿勢に基づいて、前記第1の自由度における前記手持ち部分の前記位置と、前記第2の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きとを計算するように構成されている、請求項1～5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7】

前記手持ち部分の前記姿勢は、指令姿勢、シミュレートされた指令姿勢、測定姿勢、以

前の指令姿勢、以前の測定姿勢又はそれらの組合せである、請求項 6 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 8】

前記手持ち部分の前記姿勢は指令姿勢であり、前記手術ツールは鋸刃であり、前記ツール支持体は刃支持体として定義され、前記鋸刃は前記刃支持体に結合され、前記手持ち部分の前記指令姿勢は、前記鋸刃と前記手持ち部分との関係である、請求項 7 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 9】

前記制御システムは、前記第 2 の自由度における前記手持ち部分の前記向きと、前記第 3 の自由度における前記手持ち部分の前記向きとに基づき、極座標系において実際の偏差ベクトルを決定するように更に構成され、前記実際の偏差ベクトルは大きさ及び方向を有し、前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさ、前記実際の偏差ベクトルの前記方向又はそれらの組合せに基づいて、前記視覚インジケータを制御するように構成されている、請求項 3 ～ 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 10】

前記デカルトモデルは複数の 2 次元領域を含み、該複数の 2 次元領域の各領域はそれ自体の原点を包囲し、前記実際の偏差ベクトルは、前記複数の 2 次元領域のうちの少なくとも 1 つの前記原点から、前記第 2 の自由度における前記手持ち部分の前記向きと前記第 3 の自由度における前記手持ち部分の前記向きとにより極座標系において定義された点まで延びる、請求項 9 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 11】

前記複数の 2 次元領域の各領域は、複数のロール値及び複数のピッチ値によって定義される、請求項 10 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 12】

前記制御システムは、前記第 1 の自由度における前記手持ち部分の前記位置に基づき、前記極座標系において可動域ベクトルを決定するように更に構成され、前記可動域ベクトルは大きさを有し、前記可動域ベクトルは、前記複数の 2 次元領域のうちの少なくとも 1 つの前記原点から前記 2 次元領域の境界点まで延び、前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさ、前記可動域ベクトルの前記大きさ、前記実際の偏差ベクトルの前記方向又はそれらの組合せに基づき、前記視覚インジケータを制御するように構成されている、請求項 11 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 13】

前記実際の偏差ベクトルの前記方向と前記可動域ベクトルの前記方向とは、互いに等しく、前記実際の偏差ベクトルの前記原点は、前記可動域ベクトルの前記原点と同じである、請求項 12 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 14】

前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさと前記可動域ベクトルの前記大きさとに基づき、前記視覚インジケータを制御するように構成されている、請求項 12 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 15】

前記第 1 の自由度は高さであり、前記制御システムは、前記第 1 の自由度における前記手持ち部分の前記位置に基づき、前記 2 次元領域の境界点を決定するように構成されている、請求項 12 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 16】

前記制御システムは、前記 2 次元領域の前記境界点を画定する一対の座標に基づき、前記可動域ベクトルの前記大きさを決定するように構成されている、請求項 15 に記載の手持ち式ロボットシステム。

【請求項 17】

ユーザが保持する手持ち部分及び該手持ち部分に結合されており、手術ツールの運動を駆動するツール駆動モータを備えるツール支持体と、該ツール支持体と前記手持ち部分と

を作動的に相互接続して、前記手術ツールを前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かすように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を含むアクチュエータアセンブリとを備える器具と、

前記手持ち部分を配置すべき場所に前記ユーザを誘導する視覚インジケータと、

前記複数のアクチュエータ及び前記視覚インジケータに結合された制御システムであって、既知の座標系において前記手持ち部分の第1の姿勢を決定し、前記第1の姿勢の成分に基づき第1の自由度における第1の可動域を決定し、前記既知の座標系において前記手持ち部分の第2の姿勢を決定し、前記第2の姿勢の成分に基づき前記第1の自由度における第2の可動域を決定し、前記第1の可動域と前記第2の可動域とは異なり、前記第1の姿勢と前記第2の姿勢とは異なり、前記第1の自由度における前記第1の姿勢に基づき前記手持ち部分の第1の位置又は向きを決定し、前記第1の位置又は向きと前記第1の可動域とに基づき前記視覚インジケータを制御し、前記第1の自由度における前記第2の姿勢に基づき前記手持ち部分の第2の位置又は向きを決定し、該第2の位置又は向きと前記第2の可動域とに基づき前記視覚インジケータを制御するように構成されている制御システムと

を備えてなる手術ツールと共に使用される手持ち式ロボットシステム。

【請求項18】

前記制御システムは、前記第1の自由度における前記可動域に基づき、前記極座標系において可動域ベクトルを決定するように更に構成され、前記可動域ベクトルは大きさを有し、前記可動域ベクトルは、前記デカルトモデルの複数の2次元領域のうちの少なくとも1つの原点から前記2次元領域の境界点まで延び、前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさ、前記可動域ベクトルの前記大きさ、前記実際の偏差ベクトルの前記方向又はそれらの組合せに基づき、前記視覚インジケータを制御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システム。

【請求項19】

鋸刃と共に使用される手持ち式ロボットシステムの視覚的指標を制御する方法であって、該手持ち式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を有する手持ち式器具と、該手持ち部分に移動可能に結合されて前記鋸刃を支持する、鋸駆動モータを含む刃支持体と、該刃支持体と前記手持ち部分とを作動的に相互接続する、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んでおり、

既知の座標系において第1の自由度における前記手持ち部分の位置又は向きを決定するステップと、前記第1の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きに基づき、第2の自由度における前記刃支持体の可動域を決定するステップと、

前記既知の座標系において前記第2の自由度における前記手持ち部分の位置及び／又は向きを決定するステップと、

前記第2の自由度における前記手持ち部分の前記位置及び／又は向きと前記可動域とに基づき前記視覚的指標を制御するステップと

を含んでなる方法。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0201

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0201】

また、本明細書で請求する制御システムのいずれも、後述する特徴のうちの1つ以上を有していてもよい。制御システムは、既知の座標系において、鋸刃の姿勢、手持ち部分の姿勢、鋸刃の目標姿勢、及び境界を決定し、手持ち部分の姿勢及び鋸刃の目標姿勢に基づいて、複数の制御された自由度において鋸刃を位置合せするように複数のアクチュエータを制御するように、更に構成してもよい。目標姿勢は、少なくとも3自由度で画定される目標平面であってもよい。境界は、境界メッシュであってもよく、鋸駆動モータを制御す

ることは、鋸駆動モータのモータパラメータを第 1 の値及び第 2 の値で制御することを含み、第 1 の値は、第 2 の値とは異なり、コントローラは、境界メッシュに基づくとともに鋸刃の姿勢に基づいて第 1 の値から第 2 の値に動作を変更するように動作可能である。モータパラメータは、速度、トルク、電流、加速度又はそれらの組合せを含む群から選択してもよい。制御システムは、鋸刃の一部及び境界に関する距離パラメータを決定し、鋸駆動モータを制御することはその距離パラメータに基づく。制御システムは、複数のアクチュエータのうちのアクチュエータのそれぞれの位置を決定し、鋸刃の姿勢及び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ように構成してもよい。制御システムは、既知の座標系において刃支持体に結合されたトラックの姿勢を決定し、既知の座標系において刃支持体に結合されたトラックの姿勢に基づいて鋸刃の姿勢を決定するように構成してもよい。制御システムはまた、既知の座標系において手持ち部分に結合されたトラックの姿勢を決定し、既知の座標系において手持ち部分に結合されたトラックの姿勢に基づいて手持ち部分の姿勢を決定するように構成してもよい。

10

なお、本願の出願当初の開示事項を維持するために、本願の出願当初の請求項 1 ～ 6 2 の記載内容を以下に追加する。

(請求項 1)

ユーザが保持する手持ち部分及び該手持ち部分に結合されており、手術ツールの運動を駆動するツール駆動モータを備えるツール支持体と、該ツール支持体と前記手持ち部分とを作動的に相互接続して、前記手術ツールを前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かすように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を含むアクチュエータアセンブリとを備える器具と、

20

前記手持ち部分を配置すべき場所に前記ユーザを誘導する視覚インジケータと、

前記複数のアクチュエータ及び前記視覚インジケータに結合された制御システムであって、既知の座標系において第 1 の自由度における前記手持ち部分の位置、向き又はそれらの組合せを決定し、前記第 1 の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きに基づき、第 2 の自由度における前記ツール支持体の可動域を決定し、前記既知の座標系において前記第 2 の自由度における前記手持ち部分の位置又は向きを決定し、前記第 2 の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きと前記可動域とに基づき前記視覚インジケータを制御するように構成されている制御システムと

を備えてなる手術ツールと共に使用される手持ち式ロボットシステム。

30

(請求項 2)

前記制御システムは、前記第 1 の自由度での前記手持ち部分の前記位置又は向きに基づき、第 3 の自由度における前記ツール支持体の可動域を決定し、前記既知の座標系において前記第 3 の自由度における前記手持ち部分の位置又は向きを決定し、前記第 2 の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きと前記可動域とに基づくとともに、前記第 3 の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きと前記可動域とに基づき、前記視覚インジケータを制御するように更に構成されている、請求項 1 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 3)

前記制御システムは、前記第 1 の自由度における前記手持ち部分の前記位置に基づくとともに、前記手持ち部分に対する前記ツール支持体の 3 次元作業空間を表すデカルトモデルに基づき、前記第 2 の自由度における前記ツール支持体の前記可動域を決定するように更に構成されている、請求項 2 に記載の手持ち式ロボットシステム。

40

(請求項 4)

前記モデルは、複数のロール値、ピッチ値及び高さ値によって定義される、請求項 3 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 5)

前記ツール支持体の前記 3 次元作業空間を表す前記モデルは、経験的データから導出される、請求項 3 又は 4 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 6)

50

前記制御システムは、前記既知の座標系において前記手持ち部分の姿勢を決定するように構成され、前記制御システムは、前記手持ち部分の前記姿勢に基づいて、前記第1の自由度における前記手持ち部分の前記位置と、前記第2の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きとを計算するように構成されている、請求項1～5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7)

前記手持ち部分の前記姿勢は、指令姿勢、シミュレートされた指令姿勢、測定姿勢、以前の指令姿勢、以前の測定姿勢又はそれらの組合せである、請求項6に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項8)

前記手持ち部分の前記姿勢は指令姿勢であり、前記手術ツールは鋸刃であり、前記ツール支持体は刃支持体として定義され、前記鋸刃は前記刃支持体に結合され、前記手持ち部分の前記指令姿勢は、前記鋸刃と前記手持ち部分との関係である、請求項7に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項9)

前記制御システムは、前記第2の自由度における前記手持ち部分の前記向きと、前記第3の自由度における前記手持ち部分の前記向きとに基づき、極座標系において実際の偏差ベクトルを決定するように更に構成され、前記実際の偏差ベクトルは大きさ及び方向を有し、前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさ、前記実際の偏差ベクトルの前記方向又はそれらの組合せに基づいて、前記視覚インジケータを制御するように構成されている、請求項3～5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10)

前記デカルトモデルは複数の2次元領域を含み、該複数の2次元領域の各領域はそれ自体の原点を包囲し、前記実際の偏差ベクトルは、前記複数の2次元領域のうちの少なくとも1つの前記原点から、前記第2の自由度における前記手持ち部分の前記向きと前記第3の自由度における前記手持ち部分の前記向きとにより極座標系において定義された点まで延びる、請求項9に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項11)

前記複数の2次元領域の各領域は、複数のロール値及び複数のピッチ値によって定義される、請求項10に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項12)

前記制御システムは、前記第1の自由度における前記手持ち部分の前記位置に基づき、前記極座標系において可動域ベクトルを決定するように更に構成され、前記可動域ベクトルは大きさを有し、前記可動域ベクトルは、前記複数の2次元領域のうちの少なくとも1つの前記原点から前記2次元領域の境界点まで延び、前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさ、前記可動域ベクトルの前記大きさ、前記実際の偏差ベクトルの前記方向又はそれらの組合せに基づき、前記視覚インジケータを制御するように構成されている、請求項11に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項13)

前記実際の偏差ベクトルの前記方向と前記可動域ベクトルの前記方向とは、互いに等しく、前記実際の偏差ベクトルの前記原点は、前記可動域ベクトルの前記原点と同じである、請求項12に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項14)

前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさと前記可動域ベクトルの前記大きさとに基づき、前記視覚インジケータを制御するように構成されている、請求項12に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項15)

前記第1の自由度は高さであり、前記制御システムは、前記第1の自由度における前記手持ち部分の前記位置に基づき、前記2次元領域の境界点を決定するように構成されている、請求項12に記載の手持ち式ロボットシステム。

10

20

30

40

50

(請求項 1 6)

前記制御システムは、前記 2 次元領域の前記境界点を画定する一対の座標に基づき、前記可動域ベクトルの前記大きさを決定するように構成されている、請求項 1 5 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 1 7)

前記 2 次元領域は複数の線によって画定される、請求項 1 4 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 1 8)

前記 2 次元領域は前記原点について非対称である、請求項 1 6 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 1 9)

前記原点は、前記 2 次元領域の質量中心以外の点である、請求項 1 7 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 2 0)

前記複数の 2 次元領域のうちの少なくとも 2 つは、互いに対して異なる形状、サイズ又はそれらの組合せを有する、請求項 1 8 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 2 1)

前記複数の 2 次元領域のうちの前記少なくとも 2 つのうちの 1 つは、第 1 の高さでのピッチ及びロールにおける第 1 の可動域に対応し、前記複数の 2 次元領域のうちの前記少なくとも 2 つのうちの少なくとも 1 つは、第 2 の高さでのピッチ及びロールにおける第 2 の可動域に対応する、請求項 2 0 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 2 2)

前記視覚インジケータは複数の光源を備え、前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさ、前記実際の偏差ベクトルの前記方向又はそれらの組合せに基づき、前記複数の光源のうちの少なくとも 1 つの状態を制御して、ピッチの向き、ロールの向き及び並進位置のうちの 1 つ以上における 1 つ以上の所望の変化をユーザに示すように構成されている、請求項 1 2 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 2 3)

前記複数の光源のうちの少なくとも 3 つの光源は、互いに共通の平面にある、請求項 2 2 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 2 4)

前記複数の光源のうちの少なくとも 3 つは、中心軸を包囲するアレイに配置され、前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさに基づき、前記アレイを画定する前記光源を制御するように構成されている、請求項 2 3 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 2 5)

前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさと偏差閾値とに基づき、前記アレイを制御するように更に構成されている、請求項 2 4 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 2 6)

前記偏差閾値は、前記手持ち部分の前記姿勢に基づく前記極座標系における可動域ベクトルの大きさに基づき、前記可動域ベクトルは、前記複数の 2 次元領域のうちの少なくとも 1 つの前記原点から前記少なくとも 1 つの 2 次元領域の境界点まで延びる、請求項 2 5 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 2 7)

前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記方向に基づき前記アレイにおけるルート光源を特定し、前記ルート光源に第 1 の側及び第 2 の側で隣接している少なくとも 2 つの隣接光源を特定するように構成され、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさに基づき、前記少なくとも 2 つの隣接光源の状態を制御するように構成されている、請求項 2 4 に記載の手持ち式ロボットシステム。

10

20

30

40

50

(請求項 28)

前記視覚インジケータは、前記アレイとは別個の並進インジケータを含み、前記並進インジケータは並進光源を備え、前記制御システムは、前記第1の自由度における前記手持ち部分の前記位置と並進閾値とに基づき、該並進光源の状態を制御するように構成されている、請求項26に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 29)

前記並進視覚インジケータは第1のセグメント及び第2のセグメントを含み、前記第1のセグメントは第1の並進光源を含み、前記第2のセグメントは第2の並進光源を含み、前記制御システムは、前記第1の並進光源及び前記第2の並進光源の状態を制御して、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ている、請求項28に記載の手持ち式ロボットシステム。

10

(請求項 30)

前記第1のセグメント及び前記第2のセグメントは、前記並進視覚インジケータの中線の両側にあり、前記制御システムは、前記手持ち部分の所望の動きの方向を示すように前記第1のセグメント及び前記第2のセグメントのうちの少なくとも一方を照明するように構成されている、請求項29に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 31)

前記第1のセグメント及び前記第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、前記ツール支持体によって画定される平面に垂直である、請求項30に記載の手持ち式ロボットシステム。

20

(請求項 32)

前記並進光源は複数の並進光源を含み、前記制御システムは、前記第1の自由度における前記手持ち部分の前記位置と前記並進閾値とに基づき、前記複数の並進光源からルート並進光源を特定し、前記ルート並進光源に第1の側及び第2の側で隣接している少なくとも2つの隣接光源を特定するように構成され、前記第1の自由度における前記手持ち部分の前記位置と前記並進閾値とに基づき、前記少なくとも2つの隣接光源の状態を制御するように構成されている、請求項28に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 33)

前記並進光源の前記状態は、前記複数の並進光源がオンであるかオフであるか、前記光源によって放出される光パルスの周波数、前記光源によって放出される前記光の強度、前記光源の色、又はそれらの組合せである、請求項32に記載の手持ち式ロボットシステム。

30

(請求項 34)

前記並進閾値は並進閾値の範囲を含む、請求項28に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 35)

前記並進閾値の範囲は、前記手持ち部分の3次元作業空間を表すデカルトモデルに基づく、請求項34に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 36)

前記手持ち部分の前記3次元作業空間を表す前記デカルトモデルは、経験的データから導出される、請求項35に記載の手持ち式ロボットシステム。

40

(請求項 37)

前記視覚インジケータは表示画面を含み、前記制御システムは、前記手持ち部分の指令姿勢のロール成分に基づきロール指標を表示するように前記表示画面を制御するように構成されている、請求項9に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 38)

前記表示画面は、ロール基準オブジェクトを表示するように構成され、前記ロール指標は、前記手持ち部分の前記指令姿勢の前記ロール成分とロール可動域とに基づき、前記ロール基準オブジェクトに対して位置決めされる、請求項37に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 39)

50

前記制御システムは、前記手持ち部分の前記指令姿勢のロール以外の成分に基づき、前記ロール可動域を決定するように構成されている、請求項 38 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 40)

前記視覚インジケータは表示画面を含み、前記制御システムは、並進指標を表示するように前記表示画面を制御するように更に構成され、前記制御システムは、前記第 1 の自由度における前記手持ち部分の前記位置又は向きに基づき、前記並進指標を制御するように構成されている、請求項 9 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 41)

前記表示画面は、並進範囲を示す並進基準オブジェクトを含み、前記並進指標は、前記第 1 の自由度における前記手持ち部分の前記位置と並進可動域とに基づき、前記並進基準オブジェクト内に位置決めされる、請求項 40 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 42)

前記第 1 の自由度は高さである、請求項 41 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 43)

前記並進可動域は、前記手持ち部分の 3 次元作業空間を表すデカルトモデルに基づく、請求項 42 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 44)

前記表示画面は、2 つ以上の並進基準オブジェクトを表示するように構成され、少なくとも 1 つの並進基準オブジェクトは前記表示画面の各側に位置する、請求項 41 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 45)

前記視覚インジケータは表示画面を含み、前記制御システムは、前記手持ち部分の指令姿勢のピッチ成分と、前記指令姿勢のロール成分と、ピッチ可動域と、ロール可動域とに基づき、ピッチロール指標を表示するように、前記表示画面を制御するように構成されている、請求項 12 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 46)

前記ピッチロール指標は、3 次元仮想オブジェクトの 2 次元表現であり、該 2 次元表現は、前記指令姿勢の前記ピッチ成分と前記ピッチ可動域とに基づき垂直方向に位置決めされ、前記 2 次元表現は、前記指令姿勢の前記ロール成分と前記ロール可動域とに基づき回転方向に位置決めされる、請求項 45 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 47)

前記制御システムは、前記指令姿勢の前記ロール成分に基づき前記ピッチ可動域を決定し、前記指令姿勢の前記ピッチ成分に基づき前記ロール可動域を決定するように構成されている、請求項 46 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 48)

前記 3 次元仮想オブジェクトは多角形であり、該多角形は正面及び背面を有し、前記多角形の前記背面は前記多角形の前記正面の反対側に位置決めされ、前記多角形の前記正面及び前記背面のうちの一方は、前記実際の偏差ベクトルの大きさ、方向又はそれらの組合せに基づいて位置決めされる、請求項 46 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 49)

前記視覚インジケータは、前記ツール支持体、前記手持ち部分又はそれらの組合せに結合されている、請求項 1 ～ 48 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 50)

前記視覚インジケータは、前記器具とは別個の表示画面である、請求項 1 ～ 49 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 51)

前記表示画面はナビゲーションカートに結合されている、請求項 50 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 52)

10

20

30

40

50

ユーザが保持する手持ち部分及び該手持ち部分に結合されており、手術ツールの運動を駆動するツール駆動モータを備えるツール支持体と、該ツール支持体と前記手持ち部分とを作動的に相互接続して、前記ツールを前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かすように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を含むアクチュエータアセンブリとを備える器具と、

前記手持ち部分を配置すべき場所に前記ユーザを誘導する視覚インジケータと、

前記複数のアクチュエータ及び前記視覚インジケータに結合された制御システムであって、既知の座標系において前記手持ち部分の第1の姿勢を決定し、前記第1の姿勢の成分に基づき第1の自由度における第1の可動域を決定し、前記既知の座標系において前記手持ち部分の第2の姿勢を決定し、前記第2の姿勢の成分に基づき前記第1の自由度における第2の可動域を決定し、前記第1の可動域と前記第2の可動域とは異なり、前記第1の姿勢と前記第2の姿勢とは異なり、前記第1の自由度における前記第1の姿勢に基づき前記手持ち部分の第1の位置又は向きを決定し、前記第1の位置又は向きと前記第1の可動域とに基づき前記視覚インジケータを制御し、前記第1の自由度における前記第2の姿勢に基づき前記手持ち部分の第2の位置又は向きを決定し、該第2の位置又は向きと前記第2の可動域とに基づき前記視覚インジケータを制御するように構成されている制御システムと

を備えてなる手術ツールと共に使用される手持ち式ロボットシステム。

(請求項53)

前記制御システムは、

前記第1の姿勢の成分に基づき第2の自由度における第3の可動域を決定し、

前記第2の姿勢の成分に基づき前記第2の自由度における第4の可動域を決定し、

前記第2の自由度における前記第1の姿勢に基づき前記手持ち部分の第3の位置又は向きを決定し、前記第3の位置又は向きと前記第3の可動域とに基づき前記視覚インジケータを制御し、

前記第2の自由度における前記第2の姿勢に基づき前記手持ち部分の第4の位置又は向きを決定し、前記第4の位置又は向きと前記第4の可動域とに基づき前記視覚インジケータを制御する

ように更に構成されている、請求項52に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項54)

前記制御システムは、前記手持ち部分に対する前記ツール支持体の3次元作業空間を表すデカルトモデルに基づき前記第1の可動域を決定するように更に構成されている、請求項53に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項55)

前記モデルは、複数のロール値、ピッチ値及び高さ値によって定義される、請求項54に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項56)

前記デカルトモデルは、経験的データから導出される、請求項54に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項57)

前記手持ち部分の前記姿勢は、指令姿勢、シミュレートされた指令姿勢、測定姿勢、以前の指令姿勢、以前の測定姿勢又はそれらの組合せである、請求項56に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項58)

前記手持ち部分の前記姿勢は指令姿勢であり、前記手術ツールは鋸刃であり、前記ツール支持体は刃支持体として定義され、前記鋸刃は前記刃支持体に結合され、前記手持ち部分の前記指令姿勢は、前記鋸刃と前記手持ち部分との関係である、請求項57に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項59)

前記制御システムは、前記第1の自由度における前記手持ち部分の前記第1の位置又は

10

20

30

40

50

向き及び前記第 2 の位置又は向きと、前記第 2 の自由度における前記手持ち部分の前記第 3 の位置又は向き及び前記第 4 の位置又は向きとに基づき、極座標系において実際の偏差ベクトルを決定するように更に構成され、前記実際の偏差ベクトルは大きさ及び方向を有し、前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさ、前記実際の偏差ベクトルの前記方向、又はそれらの組合せに基づき前記視覚インジケータを制御するように構成されている、請求項 5 7 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 6 0)

前記制御システムは、前記第 1 の自由度における前記可動域に基づき、前記極座標系において可動域ベクトルを決定するように更に構成され、前記可動域ベクトルは大きさを有し、前記可動域ベクトルは、前記デカルトモデルの複数の 2 次元領域のうちの少なくとも 1 つの原点から前記 2 次元領域の境界点まで延び、前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさ、前記可動域ベクトルの前記大きさ、前記実際の偏差ベクトルの前記方向又はそれらの組合せに基づき、前記視覚インジケータを制御するように構成されている、請求項 5 9 に記載の手持ち式ロボットシステム。

10

(請求項 6 1)

前記実際の偏差ベクトルの前記方向と前記可動域ベクトルの前記方向とは、互いに等しく、前記実際の偏差ベクトルの前記原点は、前記可動域ベクトルの前記原点と同じである、請求項 6 0 に記載の手持ち式ロボットシステム。

(請求項 6 2)

前記制御システムは、前記実際の偏差ベクトルの前記大きさと前記可動域ベクトルの前記大きさとに基づき、前記視覚インジケータを制御するように構成されている、請求項 6 1 に記載の手持ち式ロボットシステム。

20

30

40

50

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2021/014205

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. A61B17/17 A61B34/20 A61B34/30 A61B17/16 A61B34/00 A61B90/00 A61B34/10 ADD. According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) A61B Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2013/060278 A1 (BOZUNG TIMOTHY J [US] ET AL) 7 March 2013 (2013-03-07)	1-11, 37-44, 49-59
A	paragraphs [0020], [0136], [0140], [0168], [0170], [0325], [0423] - [0431], [0441]; figures 1,56,107-111	12-36, 45-48, 60-62
X	EP 3 007 637 A1 (MINMAXMEDICAL [FR]) 20 April 2016 (2016-04-20) paragraphs [0010], [0020], [0081], [0198] - [0211]; figures 1,5b	1-11, 49-59
X	US 2018/344409 A1 (BONNY DANIEL P [US] ET AL) 6 December 2018 (2018-12-06) paragraphs [0050] - [0060], [0109] - [0113]; figures 19-20	1-11, 52-59
	----- -/--	
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
28 April 2021		10/05/2021
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Husselin, Stephane

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2021/014205

Q(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2018/104439 A1 (ORTHOTAXY [FR]) 14 June 2018 (2018-06-14) page 22, line 29 - page 24, line 10; figures 2,13A-B page 20, line 5 - page 22, line 17; figures 13A-B page 23, line 22 - line 30 -----	1-11, 52-59
E	WO 2021/011646 A2 (STRYKER CORP [US]) 21 January 2021 (2021-01-21) the whole document -----	1-62
A	US 9 060 794 B2 (KANG HYOSIG [US]; NORTMAN SCOTT [US]; MAKO SURGICAL CORP [US]) 23 June 2015 (2015-06-23) cited in the application figures 1,3,4,6,7 -----	1-62

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2021/014205

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2013060278 A1	07-03-2013	AU 2012301718 A1	13-03-2014
		AU 2017202635 A1	11-05-2017
		AU 2017225032 A1	28-09-2017
		AU 2019226263 A1	26-09-2019
		CA 2847182 A1	07-03-2013
		CA 3067299 A1	07-03-2013
		EP 2750620 A1	09-07-2014
		EP 3213697 A1	06-09-2017
		EP 3656317 A1	27-05-2020
		JP 6303033 B2	28-03-2018
		JP 6385275 B2	05-09-2018
		JP 6619850 B2	11-12-2019
		JP 6644822 B2	12-02-2020
		JP 2015502180 A	22-01-2015
		JP 2017099918 A	08-06-2017
		JP 2018108439 A	12-07-2018
		JP 2019022661 A	14-02-2019
		JP 2020072954 A	14-05-2020
		US 2013060278 A1	07-03-2013
		US 2014316412 A1	23-10-2014
EP 3007637 A1	20-04-2016	US 2015182295 A1	02-07-2015
		US 2017156799 A1	08-06-2017
		US 2017245947 A1	31-08-2017
		WO 2013033566 A1	07-03-2013
		-----	-----
		CN 105431102 A	23-03-2016
US 2018344409 A1	06-12-2018	EP 3007636 A1	20-04-2016
		EP 3007637 A1	20-04-2016
		JP 6368906 B2	08-08-2018
		JP 2016523614 A	12-08-2016
		US 2016113720 A1	28-04-2016
		US 2016135816 A1	19-05-2016
		US 2020093500 A1	26-03-2020
		WO 2014198784 A1	18-12-2014
		WO 2014198796 A1	18-12-2014
US 2018344409 A1	06-12-2018	-----	-----
		AU 2016359274 A1	12-04-2018
		CN 108348294 A	31-07-2018
		EP 3380032 A1	03-10-2018
		JP 2019501677 A	24-01-2019
		KR 20180075563 A	04-07-2018
WO 2018104439 A1	14-06-2018	US 2018344409 A1	06-12-2018
		WO 2017091380 A1	01-06-2017
WO 2018104439 A1	14-06-2018	-----	-----
		EP 3551099 A1	16-10-2019
WO 2018104439 A1	14-06-2018	-----	-----
		WO 2018104439 A1	14-06-2018
WO 2021011646 A2	21-01-2021	-----	-----
		NONE	
US 9060794 B2	23-06-2015	-----	-----
		US 2013096574 A1	18-04-2013
		US 2015272686 A1	01-10-2015
		US 2017119403 A1	04-05-2017
		US 2018055517 A1	01-03-2018
		US 2018235718 A1	23-08-2018
US 9060794 B2	23-06-2015	US 2020129254 A1	30-04-2020
		-----	-----

10

20

30

40

50

フロントページの続き

,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,D
K,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),O
A(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,B
B,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD
,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,IT,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,
LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,
RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,Z
W

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1. B l u - r a y

2. S W I F T

3. S M A L L T A L K

4. M A T L A B

5. R U B Y

6. P A S C A L

アメリカ合衆国，ミシガン州，カラマズー，ウッドワード・アベニュー 2 1 1

(72)発明者 ペイン，ダスティン，ジェームス

アメリカ合衆国，ミシガン州，カラマズー，チャッツ・フォード・ウェイ 6 0 8

(72)発明者 ティマー，ジェフリー

アメリカ合衆国，ミシガン州，カラマズー，ウェスト・アール・アベニュー 7 1 0 7

(72)発明者 ミシュラー，ナサニエル，アブラム

アメリカ合衆国，ミシガン州，ミドルビル，ノース・ペイン・レイク・ロード 1 6 3 7

Fターム（参考） 4C160 LL01 LL12 LL28