

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号
特表2025-503705
(P2025-503705A)

(43)公表日 令和7年2月4日(2025.2.4)

(51)国際特許分類

F I

テーマコード (参考)

A 6 1 B 34/20 (2016.01)

A 6 1 B 34/20

4 C 1 3 0

A 6 1 B 34/30 (2016.01)

A 6 1 B 34/30

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全193頁)			
(21)出願番号	特願2024-542035(P2024-542035)	(71)出願人	507280594
(86)(22)出願日	令和4年12月28日(2022.12.28)		マコ サージカル コーポレーション
(85)翻訳文提出日	令和6年9月12日(2024.9.12)		アメリカ合衆国 フロリダ, ウェストン
(86)国際出願番号	PCT/US2022/054115		, エンタープライズ アベニュー 3 3 6 5
(87)国際公開番号	WO2023/136930	(74)代理人	100099623
(87)国際公開日	令和5年7月20日(2023.7.20)		弁理士 奥山 尚一
(31)優先権主張番号	63/298,807	(74)代理人	100125380
(32)優先日	令和4年1月12日(2022.1.12)		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	63/318,182		弁理士 森本 聡二
(32)優先日	令和4年3月9日(2022.3.9)	(74)代理人	100166268
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		弁理士 田中 祐
(31)優先権主張番号	63/354,461	(72)発明者	ドーズマン, マイケル, デール
	最終頁に続く		アメリカ合衆国, ミシガン州, ポーテー
			ジ, オールド・ミッション・ストリート
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 手持ち式医療ロボット器具の動きをガイドするシステム及び方法

(57)【要約】

本教示は、一般的に、外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムを提供し、本システムは、手持ち部分と、手持ち部分に結合されたツール支持体と、ツール支持体を複数の自由度で動かして、外科用ツール及びローカライザを配置するように動作可能に相互接続する、アクチュエータアセンブリとを備える器具を含む。システムは、制御システムを更に備え、該制御システムは、外科用ツールの状態を決定し、既知の座標系に対する基準座標系の位置と向きとのいずれか又は両方を決定し、外科用ツールの状態と基準座標系との間の第1の関係基準に基づいて、ガイドモードをアクティブ化し、外科用ツールの状態と基準座標系との間の第2の関係基準に基づいてガイドモードを非アクティブ化するように構成され、ここで、第1の関係基準及び第2の関係基準は異なる。

【選択図】 図 1 2

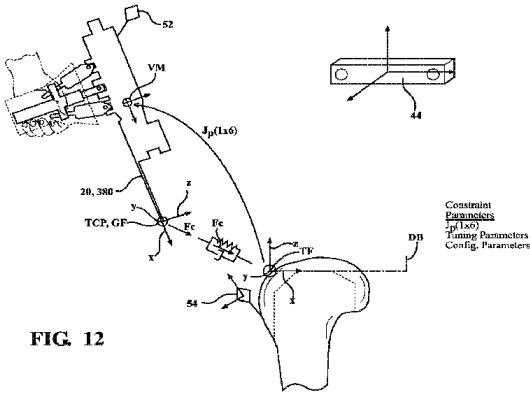


FIG. 12

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記外科用ツールを配置するための、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記外科用ツールの状態を決定し、

前記既知の座標系に対する基準座標系の位置と向きとのいずれか又は両方を決定し、

前記外科用ツールの前記状態と前記基準座標系との間の第 1 の関係基準に基づいてガイドモードをアクティブ化し、

前記外科用ツールの前記状態と前記基準座標系との間の第 2 の関係基準に基づいて前記ガイドモードを非アクティブ化する

ように構成され、

前記第 1 の関係基準及び前記第 2 の関係基準は異なるものである、

手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 2】

前記ガイドモードは、前記外科用ツールを仮想オブジェクトと位置合わせするように前記複数のアクチュエータを制御するように動作可能なモードとして定義される、請求項 1 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 3】

前記ガイドモードは、前記外科用ツールを前記仮想オブジェクトと位置合わせするように前記複数のアクチュエータを制御するように構成されたガイド制約のアクティブ化を含む、請求項 2 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 4】

前記制御システムは、

前記ガイド制約に基づいて、目標姿勢に向けて仮想外科用ツールを動かすよう適合された制約力を算出する制約ソルバと、

前記制約力に基づいて仮想シミュレーションにおいて前記仮想外科用ツールの動力学をシミュレートし、指令姿勢を出力する仮想シミュレータと

を更に備え、前記制御システムは、前記指令姿勢に基づいて前記アクチュエータのそれぞれを制御するように更に構成されている、請求項 3 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 5】

前記基準座標系は、前記既知の座標系と一致する、請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 6】

前記第 1 の関係基準は、第 1 の仮想オブジェクトに基づき、前記第 2 の関係基準は、第 2 の仮想オブジェクトに基づき、前記第 1 の仮想オブジェクト及び前記第 2 の仮想オブジェクトは、異なり、前記第 1 の仮想オブジェクト及び前記第 2 の仮想オブジェクトの姿勢は、前記基準座標系において定義される、請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 7】

前記第 1 の仮想オブジェクトは、前記第 2 の仮想オブジェクトよりも小さく、前記第 1

10

20

30

40

50

の仮想オブジェクト及び前記第 2 の仮想オブジェクトはそれぞれ、体積領域を画定する、請求項 6 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 8】

前記第 1 の関係基準は、前記外科用ツールの前記姿勢に基づき、かつ前記第 1 の仮想オブジェクトに基づき、前記第 2 の関係基準は、前記外科用ツールの前記姿勢に基づき、かつ前記第 2 の仮想オブジェクトに基づくものである、請求項 7 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 9】

前記第 1 の関係基準は、前記外科用ツールの前記状態及び前記基準座標系に基づいて第 1 の距離パラメータを決定することに基づき、前記第 2 の関係基準は、前記外科用ツールの前記状態及び前記基準座標系に基づいて第 2 の距離パラメータを決定することに基づき、前記第 1 の距離パラメータは、前記第 2 の距離パラメータとは異なる、請求項 1 ～ 8 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 10】

前記第 1 の仮想オブジェクトは、メッシュに基づく、請求項 6 ～ 8 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 11】

前記基準座標系は、患者トラックに対して定義される、請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 12】

前記基準座標系は、前記外科用ツールの目標姿勢に基づく、請求項 1 ～ 11 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 13】

前記ツールの前記状態は、前記ツールの姿勢である、請求項 1 ～ 12 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 14】

前記制御システムは、前記外科用ツールの前記状態と前記基準座標系との間の第 3 の関係基準に基づいて、前記器具がホーム状態に戻るように、前記複数の前記アクチュエータのそれぞれを制御するように更に構成されている、請求項 1 ～ 13 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 15】

前記制御システムは、前記ガイドモードがアクティブ化されているかどうかに基づいて前記第 3 の関係基準を決定する、請求項 14 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 16】

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 1 ～ 15 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 17】

前記器具は、2.72 キログラム（6 ポンド）未満の重量である、請求項 1 ～ 16 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 18】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、
器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前記外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記外科用ツールを位置合わせするための、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

10

20

30

40

50

前記制御システムは、

既知の座標系において前記外科用ツールの目標姿勢と、前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの１つの姿勢とを決定し、

前記外科用ツールの前記目標姿勢と、前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの１つの姿勢とに基づいて前記複数のアクチュエータのそれぞれを制御し、

モータステータスを決定し、

前記モータステータスに基づいて、第１の駆動モータ制御基準及び第２の駆動モータ制御基準であって、前記第１の駆動モータ制御基準は、前記アクチュエータアセンブリの少なくとも１つのアクチュエータ又は関節のアクチュエータ位置又は関節の角度を含み、前記第２の駆動モータ制御基準は、境界に基づく、第１の駆動モータ制御基準及び第２の駆動モータ制御基準のうち的一方を選択し、

前記選択された駆動モータ制御基準に基づいて前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項１９】

前記制御システムは、前記モータステータスが制限状態にあるとき、前記第１の駆動モータ制御基準を選択するように構成され、前記制限状態では、前記ツール駆動モータは、動作することを制限される、請求項１８に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項２０】

前記制御システムは、前記モータステータスが許容状態にあるとき、前記第２の駆動モータ制御基準を選択するように構成され、前記許容状態では、前記ツール駆動モータは、動作することを許容される、請求項１９に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項２１】

前記第１の駆動モータ制御基準は、前記アクチュエータ位置又は関節の角度及びアクチュエータ又は関節の閾値を含む、請求項１８～２０のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項２２】

前記制御システムは、前記モータステータスの遷移を決定するように構成され、前記制御システムは、前記遷移に基づいて、前記第１の駆動モータ制御基準及び前記第２の駆動モータ制御基準のうち的一方を選択するように構成されている、請求項１８～２１のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項２３】

前記第２の制御モータ基準は、前記外科用ツールの前記境界及び前記姿勢に基づく、請求項１８～２１のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項２４】

前記第２の駆動モータ制御基準が選択されると、前記制御システムは、前記外科用ツールの前記境界及び前記姿勢に基づいて、前記ツール駆動モータを前記許容状態から前記制限状態に遷移させるように構成されている、請求項２０～２３のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項２５】

前記境界は、インプラントの計画された姿勢に基づく、請求項１８～２４のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項２６】

前記ツールの前記目標姿勢は、前記インプラントの前記計画された姿勢に基づく、請求項２５に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項２７】

前記第１の駆動モータ制御基準は、前記アクチュエータアセンブリの少なくとも１つのアクチュエータ又は関節の前記アクチュエータ位置又は関節の角度及び第１のアクチュエータ又は関節の閾値に基づき、前記制御システムは、前記アクチュエータアセンブリの前記少なくとも１つのアクチュエータ又は関節の前記アクチュエータ位置又は関節の角度及

10

20

30

40

50

び前記第 1 のアクチュエータ閾値に基づいて前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 24～26 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 28】

前記第 1 のアクチュエータ又は関節の閾値は、値の範囲として更に定義される、請求項 27 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 29】

前記第 1 のアクチュエータ又は関節の閾値は、第 1 のアクチュエータ閾値であり、前記制御システムは、前記アクチュエータ位置及び前記第 1 のアクチュエータ閾値に基づいて前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 27 又は 28 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 30】

前記駆動モータを制御するように構成された前記制御システムは、前記モータステータスが前記制限状態にあるとき、前記第 1 のアクチュエータ又は関節の閾値及び前記アクチュエータ位置又は関節の角度値に基づいて、前記駆動モータを前記許容状態に遷移させるように更に構成されている、請求項 27～29 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 31】

前記駆動モータを制御するように構成された前記制御システムは、前記モータステータスが前記制限状態にある場合、前記アクチュエータ位置又は関節の角度値が前記第 1 のアクチュエータ又は関節の閾値の範囲内にあるとき、前記駆動モータを前記許容状態に遷移させるように更に構成されている、請求項 27～30 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 32】

前記器具は、2.72 キログラム（6 ポンド）未満の重量である、請求項 27～31 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 33】

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 27～32 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 34】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、
器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記外科用ツールの動きを駆動するツール駆動モータを備え、前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を動かして、前記外科用ツールを前記手持ち部分に対して複数の制御された自由度で動かして、前記外科用ツールを所望の姿勢に配置するための、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であって、少なくとも 1 つの制御されない自由度において前記外科用ツールを再位置決めすることができないものである、アクチュエータアセンブリとを備える器具と、
ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ及び前記ローカライザに結合された制御システムとを備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記外科用ツールの状態及び前記外科用ツールの目標姿勢を決定し、

前記ツールの前記状態及び前記外科用ツールの前記目標姿勢に基づいて前記複数の制御された自由度で前記外科用ツールを位置決めするように前記複数のアクチュエータを制御し、

前記ツール駆動モータのモータステータスを決定し、

前記モータステータスに基づいて境界を選択し、

前記少なくとも 1 つの制御されない自由度における前記外科用ツールの前記状態に基づいて、かつ前記選択された境界に基づいて、前記ツール駆動モータを制御する

10

20

30

40

50

ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 3 5】

前記モータステータスは、許容状態及び制限状態から選択され、前記許容状態では、前記ツール駆動モータは、動作することを許容され、前記制限状態では、前記ツール駆動モータは、動作することを制限され、前記境界は、第 1 の境界として更に特徴付けられ、前記制御システムは、前記第 1 の境界及び第 2 の境界から選択するように構成され、前記制御システムは、前記ツール駆動モータが前記制限状態にあるとき、前記第 2 の境界を選択するように構成され、前記制御システムは、前記ツール駆動モータが許容状態にあるとき、前記第 1 の境界を選択するように構成されている、請求項 3 4 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

10

【請求項 3 6】

前記制御システムは、前記少なくとも 1 つの制御されない自由度における前記外科用ツールの前記状態に基づいて、かつ前記選択された境界に基づいて、前記ツール駆動モータを停止させることによって、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 3 5 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 3 7】

前記器具は、2. 7 2 キログラム（6 ポンド）未満の重量である、請求項 3 4 ～ 3 6 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 3 8】

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 3 4 ～ 3 7 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

20

【請求項 3 9】

前記第 1 の境界は、第 1 の仮想オブジェクトによって画定され、前記第 2 の境界は、第 2 の仮想オブジェクトによって画定され、前記第 1 の仮想オブジェクト及び前記第 2 の仮想オブジェクトは異なるものである、請求項 3 5 ～ 3 8 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 4 0】

前記第 1 の仮想オブジェクトは、第 1 の平面であり、前記第 2 の仮想オブジェクトは、第 2 の平面であり、前記第 1 の平面は、前記第 2 の平面に平行である、請求項 3 9 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

30

【請求項 4 1】

前記制御システムは、前記ツール及び前記第 1 の仮想オブジェクトの前記状態に基づいて、前記ツール駆動モータを前記許容状態から前記制限状態に遷移させることによって、前記ツール駆動モータを制御するように構成され、前記制御システムは、前記ツール及び前記第 2 の仮想オブジェクトの前記状態に基づいて、前記ツール駆動モータを前記制限状態から遷移させることによって、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 4 0 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 4 2】

前記第 1 の境界は、インプラントの計画された姿勢に基づく、請求項 3 5 ～ 4 1 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

40

【請求項 4 3】

前記ツールの前記目標姿勢は、前記インプラントの計画された姿勢に基づく、請求項 4 2 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 4 4】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記外科用ツールの動きを駆動するツール駆動モータを備え、前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を動かして、前記外科用ツールを前記手持ち部分に対して複数の制御された自由度で動かして、前記外科用ツールを所望の姿勢に配置する、複数のアクチュエータを含むアクチュエータアセンブ

50

りであって、少なくとも1つの制御されない自由度において前記外科用ツールを再位置決めすることができないものであるアクチュエータアセンブリとを備える器具と、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ及び前記ローカライザに結合された制御システムとを備え、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記外科用ツールの状態及び前記外科用ツールの目標姿勢を決定し、

前記外科用ツールの前記状態及び前記外科用ツールの前記目標姿勢に基づいて前記複数の制御された自由度で前記外科用ツールを位置決めするように前記複数のアクチュエータを制御し、

10

前記ツール駆動モータのモータステータスを決定し、

前記モータステータスに関する距離パラメータを選択し、

前記少なくとも1つの制御されない自由度における前記外科用ツールの前記状態と、前記選択された距離パラメータとに基づいて、前記ツール駆動モータを制御する

ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項45】

前記モータステータスは、許容状態及び制限状態から選択され、前記許容状態では、前記ツール駆動モータは、動作することを許容され、前記制限状態では、前記ツール駆動モータは、動作することを制限され、前記距離パラメータは、第1の距離パラメータとして特徴付けられ、前記制御システムは、前記ツール駆動モータが許容状態にあるとき、前記第1の距離パラメータを選択するように構成され、前記制御システムは、前記ツール駆動モータが前記制限状態にあるとき、第2の距離パラメータを選択するように構成され、前記第1の距離パラメータ及び前記第2の距離パラメータは、異なる、請求項44に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

20

【請求項46】

前記制御システムは、前記少なくとも1つの制御されない自由度における前記外科用ツールの前記状態に基づいて、かつ前記選択された距離パラメータに基づいて、前記ツール駆動モータを停止させることによって、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項45に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

30

【請求項47】

前記器具は、2.72キログラム（6ポンド）未満の重量である、請求項44～46のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項48】

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項44～47のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項49】

前記第1の距離パラメータは、インプラントの計画された姿勢に基づく、請求項45～48のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項50】

前記ツールの前記目標姿勢は、前記インプラントの前記計画された姿勢に基づく、請求項49に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

40

【請求項51】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記外科用ツールの動きを駆動するツール駆動モータを備え、前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を動かして、前記外科用ツールを前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記外科用ツールを所望の姿勢に配置するための、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、

50

ツールに結合される第 1 のトラックと、
患者に結合される第 2 のトラックと、
ローカライザと、
前記複数のアクチュエータ及び前記ローカライザに結合された制御システムと
を備えてなり、
前記制御システムは、

前記第 1 のトラックに基づいて前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの 1 つの姿勢を決定し、前記第 2 のトラックに基づいて、患者の解剖学的構造の部分の姿勢を決定し、

前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの 1 つの前記姿勢と、前記患者の解剖学的構造の前記部分の前記姿勢とに基づいて前記外科用ツールを位置決めするように、前記複数のアクチュエータを制御し、

前記第 1 のトラック及び前記第 2 のトラックのうちの一方について遮断事象が発生したと決定し、

前記遮断事象に基づいて前記ツール駆動モータを制御する
ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 5 2】

前記制御システムは、前記ツール駆動モータが動作を制限される制限状態に前記ツール駆動モータが配置されるように、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 5 1 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 5 3】

前記制御システムは、前記ツール駆動モータが動作することが許容される許容状態に前記ツール駆動モータが配置されるように、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 5 2 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 5 4】

前記制御システムは、モータステータスに基づいて、第 1 の期間又は第 2 の期間を選択し、前記遮断事象に基づいて、かつ前記第 1 の期間及び前記第 2 の期間のうちの前記選択された一方に基づいて、前記ツール駆動モータを制御するように更に構成されている、請求項 5 3 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 5 5】

前記制御システムは、前記モータステータスが前記許容状態にあるときに前記第 1 の期間を選択し、前記モータステータスが前記制限状態にあるときに前記第 2 の期間を選択するように構成され、前記第 1 の期間は、前記第 2 の期間とは異なる、請求項 5 4 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 5 6】

前記第 1 のトラック及び前記第 2 のトラックは、光学追跡要素を含む、請求項 5 5 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 5 7】

前記第 1 の期間は前記第 2 の期間よりも長い、請求項 5 5 又は 5 6 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 5 8】

前記制御システムは、前記遮断事象が前記第 1 の期間を超える持続時間を有するとき、前記ツール駆動モータを前記許容状態から前記制限状態に遷移させるように構成されている、請求項 5 5 ～ 5 7 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 5 9】

前記制御システムは、前記第 2 の期間を超える持続時間にわたって遮断事象が存在しない場合に、前記ツール駆動モータを前記制限状態から前記許容状態に遷移させるように構成されている、請求項 5 5 ～ 5 8 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 6 0】

前記光学追跡要素は、LEDである、請求項56～59のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項61】

前記器具は、2.72キログラム（6ポンド）未満の重量である、請求項51～60のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項62】

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項51～61のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項63】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、
器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記外科用ツールの動きを駆動するツール駆動モータを備え、前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を動かして、前記外科用ツールを前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記外科用ツールを所望の姿勢に配置するための、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、

10

前記器具に結合される第1のトラックと、

患者に結合された第2のトラックと、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ及び前記ローカライザに結合された制御システムと

20

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において、前記第1のトラックに基づいて前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの1つの姿勢を決定し、前記第2のトラックに基づいて患者の解剖学的構造の部分の姿勢を決定し、

前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの1つの前記姿勢と、前記患者の解剖学的構造の前記部分の前記姿勢とに基づいて、前記外科用ツールを位置決めするように、前記複数のアクチュエータを制御し、

モータステータスを決定し、

前記第1のトラック及び前記第2のトラックのうちの少なくとも一方の追跡ステータスを決定し、

30

前記モータステータス及び前記追跡ステータスに基づいて、第1の駆動モータ制御基準及び第2の駆動モータ制御基準であって、前記第1の駆動モータ制御基準は、第1の期間を含み、前記第2の駆動モータ制御基準は、第2の期間を含み、前記第1の期間は、前記第2の期間とは異なる、第1の駆動モータ制御基準及び第2の駆動モータ制御基準のうちの一方を選択し、

前記選択された駆動モータ制御基準に基づいて、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項64】

前記制御システムは、前記モータステータスが許容状態にあり、前記追跡ステータスが前記第1のトラック及び前記第2のトラックのうちの少なくとも一方に対して遮断され、前記許容状態では、前記ツール駆動モータが動作することを許容されるとき、前記第1の駆動モータ制御基準を選択するように構成されている、請求項63に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

40

【請求項65】

前記制御システムは、前記モータステータスが制限状態にあり、前記追跡ステータスが前記第1のトラック及び前記第2のトラックの両方について遮断されていないとき、前記第2の駆動モータ制御基準を選択するように構成され、前記制限状態では、前記ツール駆動モータは、動作することを制限される、請求項64に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

50

【請求項 6 6】

前記第 1 の期間は、前記第 2 の期間よりも短い、請求項 6 3～6 5 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 6 7】

前記制御システムは、前記追跡ステータスが遮断されている持続時間及び前記第 1 の期間に基づいて、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 6 5 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 6 8】

前記制御システムは、前記追跡ステータスが遮断されている前記持続時間が前記第 1 の期間を超えると、前記ツール駆動モータを制限状態に設定するように構成されている、請求項 6 7 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 6 9】

前記制御システムは、前記追跡ステータスが遮断されていない持続時間及び前記第 2 の期間に基づいて、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 6 5～6 8 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 7 0】

前記制御システムは、前記追跡ステータスが遮断されていない前記持続時間が前記第 2 の期間を超えると、前記ツール駆動モータを許容状態に設定するように構成されている、請求項 6 9 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 7 1】

前記器具は、2.72 キログラム（6 ポンド）未満の重量である、請求項 6 3～7 0 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 7 2】

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 6 3～7 0 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 7 3】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前記外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かす、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ及び前記ローカライザに結合された制御システムとを備えてなり、

前記制御システムは、

前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの 1 つの姿勢と、前記外科用ツールの目標姿勢とを決定し、

前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの 1 つの姿勢と、前記外科用ツールの前記目標姿勢とに基づいて前記外科用ツールを位置決めするように前記複数のアクチュエータを制御し、

前記複数のアクチュエータを前記器具のホーム状態に移動させたいという要望を示す入力信号を受信し、

前記入力信号に基づいて前記器具の初期状態を決定し、

前記器具の前記初期状態に基づいて前記システムを制御するように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 7 4】

前記制御システムは、前記初期状態に基づいて前記ユーザに指標を提供するように構成されている、請求項 7 3 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 7 5】

前記指標は、触覚アラート、視覚アラート、又は音声アラートである、請求項 7 4 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 7 6】

前記制御システムは、前記器具の前記初期状態に基づいて前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 7 3 ～ 7 5 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 7 7】

前記制御システムは、前記初期状態及び第 1 の仮想オブジェクトに基づいて、前記システムを制御するように構成されている、請求項 7 3 ～ 7 6 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 7 8】

前記制御システムは、前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの 1 つの姿勢に基づいて距離を決定し、前記初期状態及び前記距離に基づいて前記システムを制御するように構成されている、請求項 7 7 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 7 9】

前記制御システムは、前記器具の前記初期状態及び前記ホーム状態に基づいて前記手持ち部分に対する前記ツール支持体の位置合わせの程度を決定することに基づいて、前記器具の前記初期状態に基づいて前記システムを制御するように構成されている、請求項 7 3 ～ 7 8 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 8 0】

前記位置合わせの程度は、前記器具の前記初期状態における前記複数のアクチュエータのうちの少なくとも 1 つのアクチュエータの位置と、前記ホーム状態に対応する前記少なくとも 1 つのアクチュエータの位置とを決定することによって算出される、請求項 7 9 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 8 1】

前記位置合わせの程度は、前記器具が前記初期状態にある間の前記外科用ツール、前記ツール支持体、又は前記手持ち部分の姿勢と、前記器具が前記ホーム状態にある間の前記外科用ツール、前記ツール支持体、又は前記手持ち部分の前記姿勢とに基づいて算出される、請求項 7 9 又は 8 0 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 8 2】

前記制御システムは、前記位置合わせの程度に基づいて前記ユーザに指標を提供するように構成されている、請求項 7 9 ～ 8 1 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 8 3】

前記指標は、触覚アラート、視覚アラート、又は音声アラートである、請求項 8 2 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 8 4】

前記制御システムは、前記入力信号及び前記位置合わせの程度に基づいて前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 7 9 ～ 8 3 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 8 5】

前記制御システムは、前記制御システムが前記入力信号を受信した前記時点での前記位置合わせの程度及び位置合わせ閾値に基づいて、前記ツール駆動モータを制限状態に設定するように構成されている、請求項 7 9 ～ 8 4 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 8 6】

前記制御システムは、前記制御システムが前記入力信号を受信した前記時点での前記位置合わせの程度が前記位置合わせ閾値を超えた場合に、前記ツール駆動モータを前記制限状態に設定するように構成されている、請求項 8 5 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

10

20

30

40

50

ム。

【請求項 87】

前記器具の前記ホーム状態は、前記アクチュエータのそれぞれが中間位置にあることによって定義される、請求項 73～86 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 88】

前記器具の前記ホーム状態は、前記アクチュエータのそれぞれが各アクチュエータの可動域の 40%～60% の位置にあることによって定義される、請求項 73～87 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 89】

前記制御システムは、前記位置合わせの程度及び仮想オブジェクトに基づいて、前記システムを制御するように構成されている、請求項 79～88 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 90】

前記制御システムは、前記外科用ツール、前記手持ち部分、又は前記ツール支持体の姿勢に基づいて距離を決定し、前記距離に基づいて前記システムを制御するように構成されている、請求項 89 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 91】

前記器具の前記初期状態は、前記ツール支持体又は前記手持ち部分の指令姿勢又は測定された姿勢に基づいて計算される、請求項 79～90 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 92】

前記器具は、2.72 キログラム（6 ポンド）未満の重量である、請求項 79～90 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 93】

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 79～92 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 94】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、前記手持ち式医療ロボットシステムは、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前記外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かす、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記外科用ツールの目標姿勢を決定し、

前記既知の座標系において、前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの 1 つの姿勢を決定し、

前記外科用ツールの前記目標姿勢、前記手持ち部分又はツール支持体の前記姿勢、及びガイド制約調整パラメータであって、第 1 の値を有するガイド制約調整パラメータに基づいてガイド制約を生成し、

前記複数のアクチュエータのうちの少なくとも 1 つのアクチュエータの位置と、前記複数のアクチュエータのうちの少なくとも 1 つのアクチュエータのセンタリング位置と、関節センタリング調整パラメータであって、第 2 の値を有する関節センタリング調整パラメータとに基づいて関節センタリング制約を生成し、

10

20

30

40

50

前記システムがガイドモードで動作している間に、前記ガイド制約に基づいて、前記複数のアクチュエータのそれぞれの指令された関節位置を決定し、

前記ガイドモードから非ガイドモードに遷移する際に、前記関節センタリング制約に基づいて、指令された関節位置を決定する

ように構成されており、前記関節センタリング調整パラメータの前記値は、前記ガイド制約調整パラメータの前記値とは異なるものである、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 9 5】

前記関節センタリング調整パラメータは、前記関節センタリング制約の硬直性又は減衰に影響を及ぼす、請求項 9 4 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 9 6】

前記外科用ツールの前記目標姿勢は、前記既知の座標系における、第 1 の自由度における位置、第 1 の角度、及び第 2 の角度によって定義される、請求項 9 4 又は 9 5 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 9 7】

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 9 4 ～ 9 6 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 9 8】

前記器具は、2.72 キログラム（6 ポンド）未満の重量である、請求項 9 4 ～ 9 7 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 9 9】

入力デバイスを更に備え、

前記制御システムは、前記入力デバイスによって提供される入力信号の受信に基づいて、前記ガイドモードから前記非ガイドモードに遷移するように構成されている、請求項 9 4 ～ 9 8 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 0 0】

入力デバイスを更に備え、

前記制御システムは、前記入力デバイスによって提供される入力信号の受信に基づいて、前記非ガイドモードから前記ガイドモードに遷移するように構成されている、請求項 9 4 ～ 9 9 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 0 1】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前記外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かす、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において、前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの 1 つの姿勢と、前記外科用ツールの目標姿勢とを決定するように構成され、

ガイドモードにおいて前記制御システムは、前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの 1 つの姿勢と、前記外科用ツールの前記目標姿勢とに基づいて、前記外科用ツールを位置決めするように、前記複数のアクチュエータを制御し、

前記ガイドモードと、前記器具がホーム状態をとる非ガイドモードとの間で遷移する入力信号を受信し、

前記入力信号を受信したことに応答して、前記外科用ツールの前記目標姿勢及び前記外科用ツール、前記手持ち部分、又は前記ツール支持体の姿勢に基づいて速度を決定し、

10

20

30

40

50

第 1 の期間中に前記速度及び第 1 の速度閾値に基づいて第 1 の速度で移動するように前記複数のアクチュエータを制御し、

第 2 の期間中に前記速度及び第 2 の速度閾値に基づいて第 2 の速度で移動するように前記複数のアクチュエータを制御する

ように構成されており、

前記第 1 の速度閾値は、前記第 2 の速度閾値よりも大きい又は小さいものである、
手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 102】

前記速度は、指令速度又は測定速度である、請求項 101 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 103】

前記器具は、2.72 キログラム（6 ポンド）未満の重量である、請求項 101 又は 102 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 104】

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 101 ～ 103 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 105】

前記第 1 の速度及び前記第 2 の速度は、直交座標基準フレームに対して定義される、請求項 101 ～ 104 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 106】

前記第 1 の速度閾値及び前記第 2 の速度閾値は、前記外科用ツールの加速度の関数である速度制限関数に基づいて取得される、請求項 101 ～ 105 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 107】

前記第 2 の速度閾値は、前記器具の前記手持ち部分をユーザの手の中で急激に移動させない力をもたらす、請求項 101 ～ 106 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 108】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

手持ち式器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合されていて、鋸駆動モータを含む刃支持体と、前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、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手持ち式器具と、

ローカライザと、

制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において鋸刃の目標姿勢を決定し、

前記既知の座標系において前記鋸刃の状態を決定し、

器具がホーム状態をとる非ガイドモードと、前記複数のアクチュエータがガイド制約に基づいて前記鋸刃を位置合わせするように制御されるガイドモードとの間で遷移する入力信号の受信に基づいて調整パラメータの値を決定し、

前記鋸刃の前記目標姿勢及び前記手持ち部分又は前記ツール支持体の前記姿勢に基づいて、かつ前記調整パラメータの前記値に基づいて前記ガイド制約を生成し、

前記ガイド制約に基づいて仮想鋸刃を動かすよう適合された制約力を算出し、

前記制約力に基づいて仮想シミュレーションにおいて前記仮想鋸刃の動力学をシミュレートし、前記仮想シミュレーションに基づいて指令姿勢を出力し、

前記指令姿勢に基づいて複数のアクチュエータのそれぞれを制御する

ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 109】

前記調整パラメータの前記値は、時間の関数によって定義される、請求項 108 に記載のシステム。

【請求項 110】

前記関数は、前記非ガイドモードと前記ガイドモードとの間で遷移する前記入力信号の受信に基づいて開始される、請求項 109 に記載のシステム。

【請求項 111】

前記関数は、前記調整パラメータの前記値が経時的に変化するように定義される、請求項 109 又は 110 に記載のシステム。

【請求項 112】

前記関数は、前記ツール支持体が第 2 の時間よりも第 1 の時間においてより遅く移動することをもち、前記第 2 の時間は、前記第 1 の時間の後であり、前記第 1 の時間は、前記入力信号の受信の後である、請求項 111 に記載のシステム。

【請求項 113】

前記器具は、2.72 キログラム（6 ポンド）未満の重量である、請求項 108 ～ 112 のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 114】

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 108 ～ 113 のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 115】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして前記外科用ツールを配置するための、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

前記外科用ツールの状態を決定し、

患者の位置と向きとのいずれか又は両方を決定し、

前記外科用ツールの前記状態と前記患者又は患者の解剖学的構造の前記状態との間の第 1 の関係基準に基づいてガイドモードをアクティブ化し、

前記外科用ツールの前記状態と前記患者との間の第 2 の関係基準に基づいてガイドモードを非アクティブ化する

ように構成され、

前記第 1 の関係基準及び前記第 2 の関係基準は異なるものである、

手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 116】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前記外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かす、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

10

20

30

40

50

前記制御システムは、

既知の座標系において前記外科用ツールの目標姿勢を決定し、

前記既知の座標系において前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの1つの姿勢を決定し、

前記外科用ツールの前記目標姿勢、及び前記外科用ツール、前記手持ち部分、又は前記ツール支持体の前記姿勢に基づいて、少なくとも1つのガイド制約方向と、各ガイド制約方向に沿って測定される少なくとも1つのガイド制約誤差とを含むガイド制約を生成し、

前記ガイド制約に基づいて前記複数のアクチュエータのそれぞれの指令された関節位置を決定し、

前記ガイド制約方向及び前記ガイド制約誤差に基づいて前記ツール駆動モータを制御する

10

ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項117】

前記制御システムは、前記外科用ツールの前記目標姿勢及び前記手持ち部分又は前記ツール支持体の前記姿勢に基づいて第2のガイド制約を生成するように構成され、前記ガイド制約は、第1のガイド制約であり、前記ガイド制約方向は、第1のガイド制約方向であり、前記ガイド制約誤差は、第1のガイド制約誤差であり、前記第1のガイド制約方向は、第1の自由度にあり、前記第2のガイド制約は、前記第1の自由度とは異なる第2の自由度にある第2のガイド制約方向を有し、前記制御システムは、前記第1のガイド制約及び前記第2のガイド制約に基づいて、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項116に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

20

【請求項118】

前記制御システムは、前記ガイド制約誤差及びガイド制約誤差閾値に基づいて、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項117に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項119】

前記第1のガイド制約方向は、第1の自由度内にあり、前記第1の自由度は、並進自由度又は向き自由度である、請求項118に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項120】

第1の自由度は、並進自由度であり、前記ガイド制約誤差閾値は、並進閾値である、請求項119に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

30

【請求項121】

前記制御システムは、前記ガイド制約誤差に基づいて前記ツール駆動モータを制御するように構成され、前記ガイド制約誤差閾値は、誤差範囲である、請求項119又は120に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項122】

前記誤差範囲は、ゼロの中央値に関して非対称である、請求項21に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項123】

前記並進閾値は、第1の並進閾値及び第2の並進閾値として更に定義され、前記制御システムは、前記既知の座標系における前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの1つの前記姿勢に基づいて、前記第1の並進閾値及び第2の並進閾値のうちの一方を選択するように構成され、前記第1の並進閾値及び前記第2の並進閾値は、異なる、請求項120～122のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

40

【請求項124】

前記制御システムは、前記既知の座標系におけるインプラントの計画された姿勢を受信するように構成され、前記外科用ツールの前記目標姿勢は、前記インプラントの前記計画された姿勢に基づく、請求項116～123のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項125】

50

前記外科用ツールの前記目標姿勢は、前記既知の座標系における、第 1 の自由度における位置、第 1 の角度、及び第 2 の角度によって定義される、請求項 1 2 4 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 2 6】

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 1 2 4 又は 1 2 5 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 2 7】

前記ガイド制約方向は、回転軸又は並進方向を記述する単位ベクトルである、請求項 1 1 6 ～ 1 2 6 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 2 8】

前記ガイド制約誤差は、前記回転軸の周りの角度又は前記並進方向の周りの距離である、請求項 1 2 7 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 2 9】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、鋸駆動モータを含み、鋸刃を支持するために前記手持ち部分に結合された刃支持体と、前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記刃支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記鋸刃を配置するための、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、

ローカライザと、

第 2 の器具と、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記鋸駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

外科用インプラントの計画された姿勢を受信し、

前記外科用インプラントの前記計画された姿勢に基づいて複数の目標切断面を決定し、

前記第 2 の器具の位置を決定し、

前記第 2 の器具の前記位置に基づいて、前記複数の目標切断面のうちの 1 つと関連付けられる境界を設定し、

前記設定された境界に基づいて前記鋸駆動モータを制御し、

前記複数のアクチュエータを制御して前記鋸刃を前記目標切断面のうちの 1 つに位置合わせする

ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 3 0】

前記境界は、3次元オブジェクトである、請求項 1 2 9 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 3 1】

前記 3次元オブジェクトは、前記目標切断面のうちの 1 つと交差する、請求項 1 3 0 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 3 2】

前記第 2 の器具は、ポインタである、請求項 1 2 9 ～ 1 3 1 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 3 3】

患者の骨に対する外科用器具の仮想境界を仮想的に計画する方法であって、

既知の座標系における前記骨に対する外科用インプラントの計画された姿勢を受信するステップと、

前記既知の座標系における前記外科用インプラントの前記計画された姿勢に基づいて、複数の目標切断面を決定するステップと、

前記骨の姿勢を決定するステップと、

10

20

30

40

50

切断深度限界のために前記骨に対して所望の場所にポインタを位置決めするステップと

、

前記ポインタの位置を決定するステップと、

前記ポインタの前記位置に基づいて前記複数の目標切断面のうちの１つに関連付けられた境界を設定するステップと

を含んでなる方法。

【請求項 1 3 4】

前記境界は、３次元オブジェクトである、請求項 1 3 3 に記載の方法。

【請求項 1 3 5】

前記 ３次元オブジェクトは、前記目標切断面のうちの１つと交差する、請求項 1 3 4 に記載の方法。

【請求項 1 3 6】

前記 ３次元オブジェクトは、前記目標切断面のうちの１つに垂直である、請求項 1 3 4 又は 1 3 5 に記載の方法。

【請求項 1 3 7】

ポインタを位置決めする前記ステップは、脛骨の表面に接触するように前記ポインタを位置決めすることとして更に定義される、請求項 1 3 3 ～ 1 3 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 1 3 8】

ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前記ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記ツールを位置合わせするための、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記ツールの目標姿勢及び前記手持ち部分の姿勢を決定し、

前記ツール支持体と前記手持ち部分との間に加えられる外部作用力の量を推定し、

加えられた前記推定された外部作用力の量に基づいてインジケータを制御する

ように構成され、

前記推定された作用力の量は、力又はトルクである、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 3 9】

前記制御システムは、前記推定された外力の量及び力閾値に基づいて前記インジケータを制御するように構成されている、請求項 1 3 8 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

。

【請求項 1 4 0】

前記制御システムは、前記推定された外力の量と力閾値と誤差カウンタとに基づいて前記インジケータを制御するように構成されている、請求項 1 3 8 又は 1 3 9 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 4 1】

前記制御システムは、前記外力の量に基づいて、かつ時間閾値に基づいて、前記インジケータを制御するように構成されている、請求項 1 3 8 ～ 1 4 0 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 4 2】

前記推定された外力の量が、第 1 の力成分及び第 2 の力成分を含み、前記第 1 の力成分は、第 1 の方向を有し、前記第 2 の力成分は、第 2 の方向を有し、前記第 1 の方向は、前

10

20

30

40

50

記第2の方向とは異なり、前記力閾値は、第1の力閾値及び第2の力閾値を含み、前記制御システムは、前記第1の力成分及び前記第1の力閾値に基づいて前記インジケータを制御するか、前記第2の力成分及び前記第2の力閾値に基づいて前記インジケータを制御するか、又は前記第1の力成分、前記第2の力成分、前記第1の力閾値、及び前記第2の力閾値に基づいて前記インジケータを制御するように構成されている、請求項139～141のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項143】

前記第1の方向及び前記第2の方向は、前記既知の座標系において定義される、請求項142に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項144】

前記推定された外力の量が、第1の力成分及び第2の力成分を含み、前記第1の力成分は、前記複数のアクチュエータのうちの第1のアクチュエータに対応し、前記第2の力成分は、前記複数のアクチュエータのうちの第2のアクチュエータに対応し、前記第1のアクチュエータは、前記第2のアクチュエータと異なり、前記力閾値は、第1の力閾値及び第2の力閾値を含み、前記制御システムは、前記第1の力成分及び前記第1の力閾値に基づいて前記インジケータを制御するか、前記第2の力成分及び前記第2の力閾値に基づいて前記インジケータを制御するか、又は前記第1の力成分、前記第2の力成分、前記第1の力閾値、及び前記第2の力閾値に基づいて前記インジケータを制御するように構成されている、請求項139～143のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項145】

前記インジケータは、可視インジケータ、可聴インジケータ、又は触覚インジケータから選択される、請求項137～144のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項146】

前記器具は、前記複数のアクチュエータのそれぞれに供給される電流の量を検出するように構成された1つ以上の電流センサを含み、前記制御システムは、前記1つ以上の電流センサの出力に基づいて、前記ツール支持体と前記手持ち部分との間に加えられる外部作用力の量を推定するように構成されている、請求項137～144のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項147】

前記器具は、加えられる力又はトルクの量を検出するように構成された、1つ以上の力又はトルクセンサを含み、前記制御システムは、前記1つ以上の力又はトルクセンサの出力に基づいて、前記ツール支持体と前記手持ち部分との間に加えられる前記外部作用力の量を推定するように構成されている、請求項137～146のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項148】

ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータ及び外科用ツールを備え、前記ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記ツールを位置合わせするための、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において、前記ツールの目標姿勢及び前記手持ち部分の姿勢を決定し、

前記ツール支持体と前記手持ち部分との間に加えられる外部作用力の量を推定し、

加えられた前記推定された外部作用力の量に基づいてユーザインタフェースを制御する

10

20

30

40

50

ように構成され、

前記推定された作用力の量は力又はトルクである、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 4 9】

前記制御システムは、前記ユーザインタフェースを制御して、加えられる前記推定された外部作用力の量に基づいて、ツール対器具のレジストレーションをチェックするようにユーザを促すように構成されている、請求項 1 4 8 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 5 0】

前記制御システムは、加えられる前記推定された外部作用力の量に基づいてツール対器具のレジストレーションワークフローを開始するように前記ユーザインタフェースを制御するように構成されている、請求項 1 4 8 又は 1 4 9 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 5 1】

ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前記ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記ツールを位置合わせするための、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記ツールの目標姿勢及び前記手持ち部分の姿勢を決定し、

既知の座標系において前記ツールの目標姿勢及び前記手持ち部分の姿勢を決定し、

前記ツール支持体と前記手持ち部分との間に加えられる外部作用力の量を推定し、

加えられた前記推定された作用力の量に基づいて駆動モータを制御する

ように構成され、

前記推定された作用力の量は、力又はトルクである、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 5 2】

鋸刃とともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記鋸刃の動きを駆動する鋸駆動モータを備え、前記手持ち部分に結合された刃支持体と、前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記刃支持体を動かして、前記鋸刃を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記鋸刃を所望の姿勢に配置するものである、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備える器具と、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ及び前記ローカライザに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記鋸刃の第 1 の目標姿勢を決定し、

第 1 の時間に前記鋸刃、前記手持ち部分、及び前記刃支持体のうちの 1 つの姿勢を決定し、

前記鋸刃の前記第 1 の目標姿勢と、前記第 1 の時間における前記鋸刃、前記手持ち部分、及び前記刃支持体のうちの 1 つの前記姿勢とに基づいて処置ステータスを決定し、

前記処置ステータスに基づいて前記鋸刃の第 2 の目標姿勢を選択する能力を制限する

ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 1 5 3】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記外科用ツールの動きを駆動するツール駆動モータを備え、前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を動かして、前記外科用ツールを前記手持ち部分に対して複数の制御された自由度で動かして、前記外科用ツールを所望の姿勢に配置するものである、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であって、少なくとも1つの制御されない自由度において前記外科用ツールを再位置決めすることができないものであるアクチュエータアセンブリとを備える器具と

、
ローカライザと、
前記複数のアクチュエータ及び前記ローカライザに結合された制御システムと
を備えてなり、
前記制御システムは、

既知の座標系において前記外科用ツールの状態及び前記外科用ツールの目標姿勢を決定し、

前記外科用ツールの前記状態及び前記外科用ツールの前記目標姿勢に基づいて、前記複数の制御された自由度で前記外科用ツールを位置決めするように前記複数のアクチュエータを制御し、

前記ツール駆動モータのモータステータスを決定し、
前記モータステータスに関するガイド制約誤差閾値を選択し、
ガイド制約誤差閾値、ガイド制約方向、及びガイド制約誤差に基づいて前記ツール駆動モータを制御する
ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項154】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、
器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記外科用ツールの動きを駆動するツール駆動モータを備え、前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を動かして、前記外科用ツールを前記手持ち部分に対して動かして、前記外科用ツールを1以上の自由度において所望の姿勢に配置するための、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、

ローカライザと、
前記複数のアクチュエータ及び前記ローカライザに結合された制御システムと
を備えてなり、
前記制御システムは、
既知の座標系において前記外科用ツールの状態及び前記外科用ツールの目標姿勢を決定し、

前記外科用ツールの前記状態及び前記外科用ツールの前記目標姿勢に基づいて前記外科用ツールを位置決めするように前記複数のアクチュエータを制御し、

前記ツール駆動モータのモータステータスを決定し、
少なくとも1自由度における前記外科用ツールの前記状態と前記外科用ツールの前記目標姿勢との間の誤差値を決定し、

前記モータステータスに基づいて、前記少なくとも1自由度に対する誤差閾値を選択し、

、
前記選択された誤差閾値及び前記誤差値に基づいて前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項155】

前記ツールの前記状態は、前記ツールの現在の位置又は前記ツールの以前の指令位置から選択される、請求項154に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項156】

前記誤差閾値は、誤差範囲であり、前記制御システムは、前記選択された誤差範囲に基

10

20

30

40

50

づいて、かつ前記誤差値に基づいて、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 155 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 157】

前記モータステータスは、許容状態及び制限状態から選択され、前記許容状態では、前記ツール駆動モータは、動作することを許容され、前記制限状態では、前記ツール駆動モータは、動作することを制限され、前記誤差閾値は、第 1 の誤差範囲として更に特徴付けられ、前記制御システムは、前記第 1 の誤差範囲及び第 2 の誤差範囲から選択するように構成され、前記制御システムは、前記ツール駆動モータが前記制限状態にあるとき、前記第 2 の誤差範囲を選択するように構成され、前記制御システムは、前記ツール駆動モータが許容状態にあるとき、前記第 1 の誤差範囲を選択するように構成されている、請求項 156 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

10

【請求項 158】

前記少なくとも 1 自由度は、仰角自由度である、請求項 156 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 159】

前記少なくとも 1 自由度は、第 1 の自由度であり、前記誤差値は、第 1 の値であり、前記制御システムは、前記外科用ツールの前記目標姿勢及び前記外科用ツール、前記手持ち部分、又は前記ツール支持体の前記姿勢に基づいて、第 2 の自由度における第 2 の誤差値を決定するように構成され、前記第 2 の自由度は、前記第 1 の自由度と異なり、前記制御システムは、前記第 1 の誤差値及び第 1 の誤差閾値に基づいて、前記ツール駆動モータを制御し、前記第 2 の誤差値及び第 2 の誤差閾値に基づいて、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 158 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

20

【請求項 160】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前記外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かす、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、

ローカライザと、

30

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において既知の座標系における前記ツールの目標姿勢を決定し、

前記既知の座標系における前記外科用ツールのうちの 1 つの状態を決定し、

前記外科用ツールの前記状態及び前記外科用ツールの前記目標姿勢に基づいて前記外科用ツールを位置決めするように前記複数のアクチュエータを制御し、

少なくとも 1 自由度における前記外科用ツールの前記状態と前記外科用ツールの前記目標姿勢との間の誤差値を決定し、

40

前記少なくとも 1 自由度についての誤差閾値及び前記誤差値に基づいて前記ツール駆動モータを制御する

ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 161】

前記制御システムは、1 つ以上のアクチュエータの位置がそのアクチュエータの関節と一致するときに、前記ツール駆動モータのモータステータスを許容状態に維持するように構成されている、請求項 160 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 162】

複数のアクチュエータと鋸駆動モータと外科用鋸刃とを含む手持ち式外科用ロボットを制御する方法であって、

50

既知の座標系において前記鋸刃の目標姿勢を決定するステップと、
前記既知の座標系において前記外科用鋸刃の状態を決定するステップと、
前記外科用鋸刃の前記状態及び前記外科用鋸刃の前記目標姿勢に基づいて、前記外科用鋸刃を所望の平面上に位置決めするように前記複数のアクチュエータを制御するステップと、

前記複数のアクチュエータのうちの1つ以上の位置がそのアクチュエータの関節限界と一致するときに、前記鋸駆動モータが動作することを許容するステップと
を含んでなる方法。

【請求項163】

前記許容するステップは、前記複数のアクチュエータのうちの1つ以上の前記位置を考慮することなく、前記鋸駆動モータが動作することを許容することとして更に定義される、請求項162に記載の方法。

【請求項164】

前記アクチュエータの前記位置は、測定位置、指令位置、以前の測定位置、又は以前の指令位置である、請求項162に記載の方法。

【請求項165】

前記許容するステップは、前記鋸刃が遠位境界を侵害しない限り、かつ前記鋸刃が骨内にある限り、前記鋸駆動モータが動作することを許容することとして更に定義される、請求項162に記載の方法。

【請求項166】

前記許容するステップは、前記鋸刃が前記所望の平面に近い限り、前記鋸駆動モータが動作することを許容することとして更に定義される、請求項165に記載の方法。

【請求項167】

前記許容するステップは、前記鋸刃が1以上の自由度における誤差閾値内にある限り、前記鋸駆動モータを許容することとして更に定義される、請求項165に記載の方法。

【請求項168】

前記許容するステップは、前記鋸刃が少なくとも3以上の自由度のそれぞれにおいて誤差閾値内にある限り、前記鋸駆動モータを許容することとして更に定義される、請求項165に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

患者から組織を切除するとき、外科用ツールを拘束するために物理的な切断ガイドが使用される。いくつかの場合では、物理的な切断ガイドは、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、こうした外科用ツールを拘束する。物理的な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かなりの部分を占める可能性がある。

【背景技術】

【0002】

(追跡システムとも称する)ナビゲーションシステムを使用して、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外科用ツールの位置と向きとのいずれか又は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つ以上のトラックを採用する。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。

【0003】

ロボット支援手術は、通常、6自由度(DOF)で動くことができるロボットアームを

10

20

30

40

50

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】

【0004】

これらの難題のうちの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。

【0005】

本教示は、それぞれがデバイス及び方法の動作を実行するように構成された、対応するコンピュータシステム、装置、及び1つ以上のコンピュータ記憶デバイスに記録されたコンピュータプログラムを含み得る。

【0006】

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よく理解されるにつれて、容易に理解される。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】ロボットシステムの斜視図である。

【図2】全膝インプラントを受容するために大腿骨及び脛骨上の1つ以上の平面を切断するために使用される、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。

【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】ツール支持体の本体、及び複数のアクチュエータへの関連する関節接続を示す、分解図である。

【図10】ロボット器具が使用される、様々な領域を示す図である。

【図11】制御システムによって動作可能な特定のモジュールのブロック図である。

【図12】ガイド制約及び仮想力の図である。

【図13】大腿骨に対する外科的処置のための境界生成器の出力を示す図である。

【図14】計画された外科用インプラントに基づく仮想境界を示す図である。

【図15】或る特定の仮想境界線に対する鋸刃及び患者の解剖学的構造の一部の上面図である。

【図16】患者の解剖学的構造及び外科用ロボット器具に対するナビゲーションシステムの一部、並びに潜在的な変換算出を示す図である。

【図17A】制御システムの様々な部分のブロック図である。

【図17B】制御システムの様々な部分のブロック図である。

【図17C】制御システムの様々な部分のブロック図である。

【図17D】制御システムの様々な部分のブロック図である。

【図17E】制御システムの様々な部分のブロック図である。

【図18】ツールを目標平面に引き寄せるためのガイド制約の別の適用を示す図である。

【図19】ツールを目標平面に引き寄せるためのガイド制約の別の適用を示す図である。

【図20】ガイド制約の硬直性が、距離によってどのように変化し得るかを示す図である。

。

10

20

30

40

50

- 【図 2 1】関節センタリング制約及び関連する仮想力の図である。
- 【図 2 2】関節センタリング挙動に関するアクチュエータ制御の一例を示す図である。
- 【図 2 3 A】直交空間 (Cartesian space) で見た、制御されるツールの可動域を示す、器具の斜視図である。
- 【図 2 3 B】直交空間 (Cartesian space) で見た、制御されるツールの可動域を示す、器具の斜視図である。
- 【図 2 3 C】直交空間 (Cartesian space) で見た、制御されるツールの可動域を示す、器具の斜視図である。
- 【図 2 4】手持ち式ロボット器具の一例の斜視図である。
- 【図 2 5】サンプルの制約方程式を示す図である。 10
- 【図 2 6】仮想シミュレーションを実行するためのサンプルの順動力学アルゴリズムを示す図である。
- 【図 2 7】仮想シミュレーションを実行するためのサンプルの順動力学アルゴリズムを示す図である。
- 【図 2 8】制約を解き、順動力学を実行し、指令姿勢を決定するために、制御システムによって実行されるステップの例示的なセットを示す図である。
- 【図 2 9 A】ツールを目標位置及び目標向きに引き寄せるためのガイド制約の適用に回答したツールの動きを示す図である。
- 【図 2 9 B】ツールを目標位置及び目標向きに引き寄せるためのガイド制約の適用に回答したツールの動きを示す図である。 20
- 【図 2 9 C】ツールを目標位置及び目標向きに引き寄せるためのガイド制約の適用に回答したツールの動きを示す図である。
- 【図 2 9 D】ツールを目標位置及び目標向きに引き寄せるためのガイド制約の適用に回答したツールの動きを示す図である。
- 【図 3 0 A】ガイド動作に関して切断を実行するロボット器具の概略図である。
- 【図 3 0 B】ガイド動作に関して切断を実行するロボット器具の概略図である。
- 【図 3 1】制御システムのブロック図である。
- 【図 3 2】距離パラメータを使用するロボット外科用システムの制御実施態様の概略図である。
- 【図 3 3 A】仮想オブジェクトを使用するロボット外科用システムの制御実施態様の概略図である。 30
- 【図 3 3 B】仮想オブジェクトを使用するロボット外科用システムの制御実施態様の概略図である。
- 【図 3 3 C】仮想オブジェクトを使用するロボット外科用システムの制御実施態様の概略図である。
- 【図 3 4】境界を使用するロボットシステムの制御実施態様の概略図である。
- 【図 3 5】2つの境界を使用するロボットシステムの制御実施態様の概略図である。
- 【図 3 6 A】2つの異なる距離パラメータを使用するロボットシステムの制御実施態様の概略図である。
- 【図 3 6 B】2つの異なる距離パラメータを使用するロボットシステムの制御実施態様の概略図である。 40
- 【図 3 7】複数の切断アイコンを含む例示的なユーザインタフェースの図である。
- 【図 3 8】骨の第 1 の領域及び第 2 の領域を示す、例示的なユーザインタフェースの図である。
- 【図 3 9 A】システムをホーム状態に遷移させるロボットシステムの制御実施態様の概略図である。
- 【図 3 9 B】システムをホーム状態に遷移させるロボットシステムの制御実施態様の概略図である。
- 【図 3 9 C】システムをホーム状態に遷移させるロボットシステムの制御実施態様の概略図である。 50

【図 4 0】仮想オブジェクトの使用を含む、器具をホーム状態に遷移させるロボットシステムの制御実施態様の概略図である。

【図 4 1】仮想オブジェクトの使用を含む、器具をホーム状態に遷移させるロボットシステムの制御実施態様の概略図である。

【図 4 2】ロボットシステムの制御に使用する時間に基づく複数の速度閾値を描写するグラフである。

【図 4 3】ロボットシステムの制御に使用する時間に基づく調整パラメータの関数を描写するグラフである。

【図 4 4】患者の解剖学的構造及び外科用ロボット器具に対するナビゲーションシステムの一部、並びに目標軌道に関する潜在的な変換算出の他の例を示す図である。

10

【図 4 5】滅菌容器の正面斜視図である。

【図 4 6 A】器具を滅菌姿勢に動かすように滅菌モードで動作する器具を示す図である。

【図 4 6 B】器具を滅菌姿勢に動かすように滅菌モードで動作する器具を示す図である。

【図 4 7 A】滅菌プロセスを容易にするために滅菌容器の空隙内に設置されている器具を示す図である。

【図 4 7 B】滅菌プロセスを容易にするために滅菌容器の空隙内に設置されている器具を示す図である。

【図 4 8 A】滅菌プロセスを容易にするために滅菌容器の基部の上に設置されている滅菌容器の蓋を示す図である。

【図 4 8 B】滅菌プロセスを容易にするために滅菌容器の基部の上に設置されている滅菌容器の蓋を示す図である。

20

【図 4 9 A】器具を別の滅菌姿勢に動かすために滅菌モードで動作する器具を示す図である。

【図 4 9 B】器具を別の滅菌姿勢に動かすために滅菌モードで動作する器具を示す図である。

【図 5 0】ガイダンスアレイを有する器具を示す図である。

【図 5 1】ガイダンスアレイを受容するように構成される第 2 の空隙を画定する滅菌容器を示す図である。

【図 5 2】第 2 の空隙内に受容されたガイダンスアレイを伴う滅菌容器を示す図である。

【図 5 3】骨に接触するポインタ器具の表現を示す図である。

30

【図 5 4】インジケータを有するロボットシステムの例示的な表示を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

(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、穿孔、組織の凝固、インプラントの挿入、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、脊椎手術及び／又は足関節手術（これらの技術の一以上）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、椎弓根スクリュー等の脊椎インプラント及び／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。脊椎手術についての軸及び様々な境界を計画する態様は、引用することにより本明細書の一部をなすものとする国際公開第 2021062373 号公報に記載されている。

40

【0009】

50

図 1 及び図 2 を参照すると、ロボットシステム 10 は、器具 14 を含む。いくつかの例では、ユーザは、(図 1 に示すように) 器具 14 を手で保持して支持する。いくつかの他の例では、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、ユーザによって支持される手持ち部分 16 を含む。

【0010】

器具 14 は、ガイドアーム／補助デバイスの補助なしにユーザが自由に動かし、かつ支持してもよく、例えば、物質の物理的な除去又は物質の切断を実施している間、処置中にツールの重量がユーザの片手又は両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、3.63 キログラム (8 ポンド) 以下、2.72 キログラム (6 ポンド) 以下、2.27 キログラム (5 ポンド) 以下又は 1.36 キログラム (3 ポンド) 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。

【0011】

器具の重量が、ガイドアーム又は補助デバイスの補助なしに、ユーザによって支持されるように構成された実施態様においては、手持ち部分は、地面に対する堅固な基準を有さず、アクチュエータアセンブリの制御の間に地面に対して動く。このことは、テーブル、カート、撮像器、又は処置の間に静止したままである他の構成要素に結合されるベースを特徴とするロボットアームとは、対照的なものとなり得る。器具の手持ち部分は、地面に対して動き得るため、手持ち部分の姿勢は動的であり、最適な動作、すなわち、最適な可動域、ユーザの手に対する最適なバランス及び重心、並びに、手順を完了するために手持ち部分を理想的な方法で位置決めすることからユーザの気を散らし得る感覚をユーザに与えることを回避するためのユーザに対する最適な感触を達成するために、手持ちロボット器具の制御の間に、考慮される必要があり得る。このことは、限定するものではないが、ツール、ツールプラットフォーム、アクチュエータアセンブリ、及び／又は手持ち部分を含む、システムの様々な動き／変形可能な構成要素の間のナビゲーション変換を算出する際に、器具の制御システムが、ベースすなわち手持ち部分が固定位置にあると仮定できないという事実に起因している。

【0012】

ガイドアーム又は補助デバイスの使用なしで、ユーザによってその重量を支持されるように構成される手持ち式医療ロボット器具にもたらされる別の複雑さは、器具の運動学的な連鎖を通して伝達される反力が、少なくとも部分的にガイドアーム／補助デバイスに伝達されるのではなく、最終的にユーザの手にのみ伝達されることである。手持ち式ロボットシステムにおいては、ユーザが反力を負担しなければならないので、手持ち式ロボット器具の制御システムは、これらの反力がシステムの使用性を損なわないことを確実にするために、アクチュエータアセンブリを注意深く制御する必要がある。制御システムが、望ましくない時間に及び／又は望ましくない方向で、ユーザの手にかなりの反力が加えられることに帰着する場合、これらの反力は、ユーザの拳動に影響を与え、ユーザの手及びそれゆえロボット器具を、望ましくない位置、向き、及び／又は姿勢へと動かすこととなり得る。例えば、骨、ツール、ツール支持体、及び／又は手持ち部分に関して、仮想世界と実世界との間に不一致がある場合、その不一致は、制御システムが、ユーザの手に反力を加えるような態様で、アクチュエータアセンブリを制御することに導き得る。

【0013】

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 と相互作用するか及び／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, 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。

【0014】

ツール 20 は、ツール支持体 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／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、ツイストドリルビット、スクリュードライバ、タップ、超音波振動チップ、バー、ステープラ、回転切断ツール等であってもよい。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 Mac an Tulleらの米国特許第 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。

【0015】

2020 年 7 月 15 日に出願された「Robotic Handheld Surgical Instrument Systems and Methods」と題する PCT 出願である 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。

【0016】

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 を所望の位置及び／又は向きに（例えば、切除中に大腿骨 F 及び／又は脛骨 T 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。

【0017】

アクチュエータアセンブリ400は、パラレルマニピュレータ構成として構成されてもよい。本出願を通して示されるように、パラレルマニピュレータ構成は、アクチュエータ21、22、23を使用して単一のプラットフォーム（すなわちツール支持体18）を支持し、アクチュエータ21、22、23は、制御システム28によって制御及び操作される。アクチュエータ21、22、23は、ツール支持体18と手持ち部分16とを直接に接続する、同時に動作する別個の独立した連結機構である。本願を通して示されるようないくつかの例においては、パラレルマニピュレータとなるために幾何学的な平行性は必要とされない。例えば、引用することにより本明細書の一部をなすものとする、「Surgical instrument including housing, a cutting accessory that extends from the housing and actuators that establish the position of the cutting accessory relative to the housing」と題された米国特許第9,707,043号に記載されているような、他のアクチュエータアセンブリの構成も企図される。

【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、器具コントローラ28、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）及び／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むことができる。プロセッサは、任意のタイプのマイクロプロセッサ、マルチプロセッサ及び／又はマルチコア処理システムであり得る。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、及び／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及び／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を備えていてもよい。

【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及び／又はモジュールは、コントローラ28、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 と器具コントローラ 28 とのいずれか又は両方の非一時的なメモリ 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、単数及び／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 及び／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。

10

【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、位置及び／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、及び／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。

20

【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 及び／又は手持ち部分 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、制御基板 31 とデータ通信及び電力通信を行う、オフボード制御コンソール 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 及び／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 及び／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、及び／又は、処理を任意の数の異なる場所で実行することができることが企図される。

30

40

【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 E

50

nergize 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及び／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。また、2022年1月30日に出願されたPCT出願であるPCT/US2022/013115号は、引用することにより本明細書の一部をなすものとする。

【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、又は他の骨構造、例えば、1つ以上の椎骨、骨盤、肩甲骨、上腕骨、又はそれらの組合せが挙げられる。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LC LZに対する各対象の状態情報を収集する。本明細書で使用する、対象の状態とは、限定されないが、追跡された対象の位置及び／又は向きを定義するデータ(例えば、その座標系)、又は位置及び／又は向きの等価物／派生物を含む。例えば、状態は、対象の姿勢であってもよく、及び／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及び／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、外科用のロボットシステム10を構成するか及び／又はワークフローを進めてもよい。

【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。或る特定の構成では、ローカライザは手持ちロボット器具に結合されてもよい。

【0027】

ナビゲーションシステム32は、1つ以上のトラッカを含む。いくつかの例では、トラッカは、ポインタトラッカPT、ツールトラッカ52、第1の患者トラッカ54、及び第2の患者トラッカ56を含む。図1の図示する例では、ツールトラッカ52は、器具14

10

20

30

40

50

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及びポイントトラックは、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、ポイントトラックPTは、ポイント57に堅固に貼り付けられ、ローカライザ座標系LCIZ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、他の較正及び／又はレジストレーション機能のために使用されるか、あるいはそれらの両方のために使用される。1つの例では、ポイント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、ポイントトラックPTを使用して、トラック座標系に対して器具14のTCPをトラック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、ポイントトラックPT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。

10

【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、LCIZ座標系に対してではなく、「トラック座標系」に対する変換について記載する。ローカライザ座標系は、全ての追跡された対象がLCIZ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LCIZ）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。

20

【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）、又は物理的に全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。

30

【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LCIZ、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、術前及び／又は術中画像（例えば、CT画像、MRI画像等）及び／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及び／又は3Dモデルを作成するために、術前又は術中の撮像に依存しない。むしろ、ロボットシステムは、ポイントトラック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、標的解剖学的構造は、制御システ

40

50

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、術前及び術中の撮像を使用して患者の標的領域を撮像し、そして 2D 及び／又は 3D 画像を標的骨の 3D モデルへと変換する。外科用ロボットシステム 10 が、標的領域の 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 座標系とツール支持体座標系 TCS とのいずれか又は両方に対して定義されてもよい。ツール 20 は、TCP 座標系とツール支持体座標系 TCS とのいずれか又は両方に対して定義され、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、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、便宜上か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。他の例では、ツール 20 は軸を有する。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（bur）25 の球面中心、ドリルビットの先端、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感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 の姿勢及び／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、及び／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。

【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、ツール支持体 18 及び／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、及び／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、ポインタ 57 を使用してもよい。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

10

20

30

40

50

ョンでは、トラック／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クを含む場合では、ローカライザ座標系 LCTZ に対する手持ち部分の姿勢を直接測定してもよい。更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、ツールトラックに対して TCP を定義してもよい。

【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、及び／又は他の任意の位置感知方法を採用して、ベース座標系 BCS に対する TCP 座標系及び／又はツール支持体座標系 TCS の姿勢を測定してもよい。1つの例示的な構成では、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 座標系及び／又はツール支持体座標系 TCS の姿勢を決定してもよい。

【0034】

ローカライザ 44 は、トラック 52、54、56、PT（例えば、その座標系）をモニタリングして、トラック 52、54、56、PT のそれぞれの状態を決定し、その状態は、それらがそれぞれ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、トラック 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、トラック 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、トラック 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。

【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）及び／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及び／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、及び／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。

【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 及び／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 及び／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デバイスを含んでもよい。超音波撮像デバイスは、上述した対象、例えば、器具 14、ツール 20 及び／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。超音波撮像デバイスは、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。

【0037】

別の例では、ナビゲーションシステム 32 及び／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 及

び／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を関連付けてもよい。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。

【0038】

更に別の例では、ナビゲーションシステム 32 及び／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 及び／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を関連付けてもよい。この場合もまた、そのような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。

【0039】

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、方法及び／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及び／又はモジュールは、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、非一時的なメモリ、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、ユーザを促すか及び／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 及び／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、及び／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、及び／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。

10

【0042】

(器具)

1つの例示的な構成において、図8及び図9に、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。

20

【0043】

手持ち部分16は、ユーザが器具14を操作し、誘導し、及び／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のような、濡れているか及び／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な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應するような、ユーザの手及び／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。

30

【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

40

50

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 (pivotally) 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SAを中心に手持ち部分16の基部74に対して回転するように配置されたスイベルヨーク110を含む。各スイベルヨーク110は、スイベルヘッド112と、スイベルヘッド112から延在して関節支持体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（pivot）のを可能にする、対向するトラニオン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自由度で動く際を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、そして、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を中心に回転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つのアクチュエータ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。

【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、回転しない）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。

【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

10

20

30

40

50

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。

【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、そして、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を配線及び／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、及び／又は他の目的のために有用である場合がある。

【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。送りねじ150は、1つ以上のブッシング及び／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、0.508mm（0.02インチ）／回転～0.762mm（0.03インチ）／回転のリードをもたらす8～36のクラス3のねじ山を有する。他のねじ山タイプ／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：proportional integral derivative）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。付加的及び／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、及び／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）を利用してもよい。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、32VDC電力信号をモータに提供する。32VDC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、平滑か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、12VDC、24VDC、40VDC等の他のタイプの電力信号を提供でき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16kHz、最大256kHz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。

10

【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の現時点の位置及び／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、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）からの感知された磁界に基づいてアナログ及び／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、5VDC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感知する。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DC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、モータの逆起電力及び／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その全体が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。

20

30

40

【0058】

いくつかの例では、センサ及び／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、及び／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、センサ及び／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

50

ともに使用される。付加的又は代替的に、センサ及び／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」(electrical angle of the rotor)を決定してもよい。例えば、センサ及び／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、センサ及び／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)シングルト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1,024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、カウント値は、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、カウント値を使用してロータの現時点の位置を規定してもよい。

【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ト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。

【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「E L」と表示されている。ここで、有効長 E L は、ピボット軸 P A 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 E L が変化する。アクチュエータ 21、22、23 は、有効長 E L の最小値と最大値との間で調整可能である。各アクチュエータ 21、22、23 の有効長 E L は、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 A A 1、A A 2、A A 3 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／測定することができる。

10

【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 P A 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。

20

30

【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 C A 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 C A に沿って軸方向に摺動するのを可能にするように、かつ、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 C A 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 C A 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 C A に沿った有効長 E L 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。

40

50

【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。受動連結機構を含まないロボット手持ち式器具を含む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、及び／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、共通平面に平行なツール面TP（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、ツール面TPは、共通平面CPから50.8mm（2.0インチ）以下、25.4mm（1.0インチ）以下、20.32mm（0.8インチ）以下、又は12.7mm（0.5インチ）以下だけ間隔が空けられる。

【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の全ての位置において、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、か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になる。能動軸AA1、AA2、AA3が制約軸CA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AA1、AA2、AA3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更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、直列、又はそれらの組合せに配置された2つ、3つ、4つ、5つ、6つ又はそれ以上の異なるアクチュエータを含んでもよい。

【0072】

（視覚ガイダンス）

図10に示されるように、ガイダンスアレイ200は、ツール支持体18に任意に結合され得る。これに加えて又は代替として、ガイダンスアレイ200は、手持ち部分16、又は器具14の他の部分に、任意に取り付けられてもよい。図示されたバージョンにおいて、ガイダンスアレイ200は、少なくとも第1の視覚インジケータ201、第2の視覚インジケータ202、及び第3の視覚インジケータ203を含む。視覚インジケータ201、202、203のそれぞれは、器具コントローラ28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においては、照明源は、1つ以上の発光ダイオード（例えばRGBのLED）を含み、これらは、異なる状態、例えばオン、オフ、異なる周波数での点滅／ブリンク、異なる強度、異なる色、及びこれらの組合せでの照明等で、動作させることが可能である。図10に示されるバージョンにおいては、視覚インジケータ201、202、203のそれぞれは、上部204及び下部206（上部セグメント204、下部セグメント206）を含む。さらに、視覚インジケータ201、202、203のそれぞれは、3つ以上、4つ以上又は更には10個以上の部分等、2つの部分204、206よりも多く分割されてもよいことが企図される。例えば、視覚インジケータ201、202、203のそれぞれは、3つの部分に分割され、各部分は、1つ以上のLEDを含んでもよい。視覚インジケータ201、202、203は、上部204及び下部206が、所

望に応じて個別に制御／照明され得る、半球状の、透明な又は半透明のドームを含む、概して球状の形状を有してもよい。視覚インジケータ201、202、203は、円筒形、環、正方形、多角形、又はユーザに視覚的な手がかりを伝達することが可能な他の形状のような、球以外の形状を有していてもよいことが企図される。1つ以上の発光ダイオードが、各ドームに関連付けられてもよい。視覚インジケータ201、202、203は、1つ以上の取り付けブラケット205を介して、ツール支持体18又は手持ち部分16に固定されてもよい。

【0073】

ガイダンスアレイが使用されないいくつかの例においては、視覚インジケータ201、202、203は、ツール支持体18又は手持ち部分16に取り付けられたLCD又はLEDディスプレイ上の別個の領域のような、表示画面の別個の部分を含んでもよい。表示画面はまた、器具に取り付けられた表示画面を有することに加えて又はその代替として、ナビゲーションシステムの一部として含まれてもよい。

【0074】

更に代替として、第2のモードにおける視覚ガイダンスは、手持ち部分、刃支持体、又はその両方に結合された機械的ガイドを備えてもよい。

【0075】

いくつかの構成においては、それぞれが異なる視覚インジケータに対応する、表示画面の1つ、2つ、3つ、又は4つの部分があってもよい。表示画面の各部分は、異なる視覚グラフィックに対応してもよい。以下に説明されるように、視覚インジケータのそれぞれ（又は表示画面の部分）は、アクチュエータ情報に基づいてもよい。いくつかの場合においては、単一の視覚インジケータが、2つ以上のアクチュエータからのアクチュエータ情報に基づいてもよい。さらに、全文を通して説明されるように、視覚インジケータは、ユーザがツールをどこに位置決めすべきかを示す第1のモードと、ユーザが手持ち部分をどこに位置決めすべきかを視覚インジケータが示す第2のモードとで使用され得る。

【0076】

例えば、視覚インジケータ201、202、203は、第1のアクチュエータ21、22、23の第1の指令位置に基づく第1の指標（第1の視覚グラフィック）と、第1のアクチュエータ21、22、23の第2の指令位置に基づく第2の指標（第2の視覚グラフィック）とを出力するように構成されてもよく、このとき、第1の指標は、第2の指標とは異なり、第1の指令位置は、第2の指令位置とは異なる。以上に説明されたように、視覚インジケータ201、202、203は、任意の適切なタイプのアクチュエータ情報に基づいて制御されてもよい。言い換えれば、表示画面上に表示される視覚グラフィックは、指令位置、以前の指令位置、シミュレートされた指令位置、現在の測定された位置、以前の測定された位置、利用可能な移動、（硬式のストップ若しくは軟式のストップのような）アクチュエータ限界、現在の位置から指令位置までの必要とされる距離、又はこれらの組合せに基づいてもよい。

【0077】

いくつかの構成においては、器具コントローラ28は、上部204及び下部206が、ツール20の所望の動きの方向を示すよう種々の状態で動作させられるように、上部204及び下部206の照明を制御するように構成される。器具コントローラ28は、異なる状態で又は異なる指標とともに複数の部分の照明を制御するように構成されてもよいことが更に企図される。例えば、以下に更に説明されるように、これら異なる状態は、（1）ツール20（例えば鋸刃）を所望の姿勢（例えば所望の切断面／所望の切断軌道上に）に配置するためにユーザが手持ち部分16をどのように動かすべきか、又は（2）制御システム60が、同時にツール20を所望の姿勢に保つように動作する間に、アクチュエータ21、22、23が、それらのホーム位置により近いもののような、好ましい方向に動くように、ユーザが手持ち部分16をどのように動かすべきかをユーザに示してもよい。

【0078】

第1のモードにおいては、器具が骨から十分に離れていて、ガイド制約が非アクティブ

であり関節センタリング制約がアクティブである場合に、（器具上の又はナビゲーションシステムの一部における）ガイダンスアレイ又は表示画面が使用されてもよい。この構成においては、ユーザは、切除ゾーン／領域に入るときに関節移動の中心に近くなるように、刃／ツール／手持ち部分の良好な初期位置合わせを達成し、ガイド制約が最初に有効にされたときに、刃支持体／ツール支持体及びアクチュエータにおいては限られた急激な動きになるように、そして、有効にされたときに、アクチュエータが目標平面若しくは目標軌道又はその他の目標仮想オブジェクトに「到達」することが可能となるように、視覚インジケータを使用することを欲する。

【0079】

第2のモードにおいては、アクチュエータのそれぞれが限られた動き／移動の範囲しか有さないため、ユーザにとってはしばしば、アクチュエータが目標平面、目標軌道、又はその他の目標物に到達できるように、手持ち部分を位置決めすることが重要である。アクチュエータの1つがその関節限界に達した場合、制御システムは、その方向にそれ以上動かないようにしなければならず、この場合においては、システムは、切断面に刃を位置合わせすることができなくなる（制御システムは、典型的には、不適切な切除を防ぐために鋸駆動モータを停止させる）か、又は、システムは、計画された軌道にツールを位置合わせしないこととなる。したがって、アクチュエータアセンブリが目的平面又は目的軌道に到達できるように、手持ち部分を適切に位置決めできるように、継続的なフィードバックをユーザに与えることが重要となり得る。継続的なフィードバックがなければ、モータのうちの1つが関節限界に到達し、鋸駆動モータが停止されるために、最終的に刃が平面から持ち上がるまで、ユーザは可動域の限界にどれだけ近づいて操作しているか認識しないこととなり、ユーザを悩ませ、外科的処置を長引かせる等し得る。目的は、いずれかのアクチュエータが関節限界に到達することの発生を最小化／減少させるための、直感的で生のハンドル位置合わせのフィードバックを与えることである。ガイダンスアレイ、表示画面、又は機械的ガイドは、この目的に適したものとなり得る。

【0080】

いくつかの動作モードの間、器具コントローラ28は、ユーザが手持ち部分16を介してツール20を動かす間に、ツール20の所望の姿勢を達成するために、ツール20のピッチの向き、ロールの向き、及びz軸の並進の所望の変化をユーザに視覚的に示すために、ガイダンスアレイ200を自動的に制御／調節する（例えばその状態を変化させる）ように構成される。いくつかのバージョンにおいては、ガイダンスアレイ200は、ツール20の平面を直感的に表す態様で、ツール支持体18に又は手持ち部分16に結合される。例えば、3つの点が平面を画定するので、3つの視覚インジケータ201、202、203は、一般にツール20の平面を表し得る。いくつかの場合においては、インジケータ201、202、203のそれぞれは、ツール20の平面に対する既知の位置を有する点P1、P2、P3のうちの1つに対応する（例えばツール平面内に位置させられ、TCP座標系、ツール支持体座標系TCS、又はその他の任意の適切な座標系において定義される）。視覚インジケータ201、202、203に関連する点は、ツール20の平面内の他の適切な位置において、又はツール20の平面に対して既知の関係を有する位置において、定義され得る。

【0081】

総じて、1つ以上の視覚インジケータ201、202、203を使用するガイダンスアレイ200は、ツール20のピッチ、ロール、及び並進を変更するための動き（例えば移動量）の所望の変化、並びに、所望の姿勢を達成するためのツール支持体座標系TCSのピッチ、ロール、並進の所望の変化を、ユーザに視覚的に示すように位置させられ、その状態が制御されてもよい。より具体的には、器具コントローラ28は、ピッチの向きの所望の変化、ロールの向きの所望の変化、及び並進の所望の変化の間を、ユーザが区別することを可能とするような態様で、ガイダンスアレイ200を照明するように構成される。器具コントローラ28は、ツール20を所望の平面に動かすのに必要とされる移動量をユーザが示すことを可能とするような態様で、ガイダンスアレイ200を照明するか又は表

示画面を制御するように構成されてもよい。所望の平面は、平面又は平面セグメントであってもよい。ピッチ、ロール、及び並進の変化は、例えば、目標平面TPに対するものである。

【0082】

別の構成においては、1つ以上の視覚インジケータ201、202、203を使用するガイダンスアレイ200は、手持ち部分16のピッチ、ロール、及び並進を変更するための動き（例えば移動量）の所望の変化、並びに、所望の姿勢を達成するためのベース座標系BCSのピッチ、ロール、及び並進の所望の変化を、ユーザに視覚的に示すよう位置させられ、その状態が制御されてもよい。より具体的には、器具コントローラ28は、ピッチの向きの所望の変化、ロールの向きの所望の変化、及び並進の所望の変化の間を、ユーザが区別することを可能とするような態様で、ガイダンスアレイ200又は表示画面を照明するように構成される。器具コントローラ28は、ツール20が所望の平面又は目標軌道上となるように手持ち部分16を動かすのに必要とされる移動量をユーザが示すことを可能とするような態様で、ガイダンスアレイ200を照明するように構成される。ピッチ、ロール、及び並進の変化は、例えば、目標平面TPに対するものである。

【0083】

器具コントローラ28は、ガイダンスアレイ200及び／又は視覚インジケータ201、202、203（又は表示画面）の動作を、ガイダンスアレイ／視覚インジケータがツール20の動きの所望の変化を示すモードから、入力デバイス（例えばフットスイッチ、トリガ、ナビゲーションUI38上のマウスクリック又はタッチスクリーン押下等）の作動のような、入力信号に基づいて手持ち部分16の動きの所望の変化を示すように切り換えてもよい。代替としては、器具コントローラ28は、ツール20の位置と、トラッカ54、56のような既知の座標系における骨の基準位置の位置とに基づいて、これらのモード間を切り換えるように構成されてもよい。基準位置は、目標オブジェクトのような、目標状態に対して器具14を位置特定するために使用される座標系における点、面又は体積であってもよい。特定の実施態様においては、基準位置は、骨の計画された入口71aである。例えば、基準位置は、骨の表面、骨内の点、既知の座標系内の虚の点又は仮想点、座標系内の体積、又はこれらの組合せであってもよい。基準位置の位置及び／又は向きは、レジストレーション及び適切な計画ステップを通して、患者トラッカに関して既知である。器具コントローラ28は、ツールと基準位置との間の距離のような、2つのオブジェクトの間で計算された距離パラメータに基づいて、モードを切り換えてもよい／異なって動作してもよい。距離パラメータは、距離（例えば2つのオブジェクトがどれだけ離れているか）、大きさ（或るオブジェクトに対する距離の方向）、又はその両方であってもよい。いくつかの例においては、器具コントローラ28は、距離パラメータが骨から離れる方向及び第1の閾値より大きい大きさを有する場合に、モードを切り換えてもよい。2021年1月20日に出願されたPCT出願であるPCT/US2021/014205号、及び2022年1月20日に出願されたPCT出願であるPCT/US2022/013108号に記載されているような、他の視覚化及びガイダンスシステム及び方法が企図される。

【0084】

（制御の概要）

図7及び図11を参照すると、挙動コントローラ186及び動きコントローラ188は、器具コントローラ28及び／又はナビゲーションコントローラ36上で動作させられてもよい。制御システム60は、複数のアクチュエータのための適切な命令を示すデータを計算する。一実施態様においては、挙動コントローラ186は、手持ち部分に対するツールのための次の指令位置及び／又は向き（例えば姿勢）を出力するように機能する。動作の間、ツール20は、複数のアクチュエータを使用して目標状態に向けて効果的に動かされる。これらの効果は、ツール20を目標状態に向けて動かすために、1以上の自由度で生成されてもよい。かくして、目標状態は、ツール20が1自由度のみで動かされるように定義されてもよいし、又はツール20が2以上の自由度で動かされるように定義されて

もよい。したがって、目標状態は、目標座標系 T F（目標フレーム T Fとも呼ばれる）として定義される目標位置、目標向き、又はその両方を含んでもよい。目標座標系 T Fは、解剖学的構造トラッカ又は目標骨の座標系に対して定義されてもよいが、他の座標系が使用されてもよい。図 1 2 に示されるように、目標位置は、解剖学的構造トラッカ又は骨のような基準座標系に対する目標座標系 T F の x 軸、y 軸及び／又は z 軸に対する 1 つ以上の位置成分、例えば、目標 x 位置、目標 y 位置、及び／又は目標 z 位置を含んでもよい。いくつかの場合においては、目標位置は、解剖学的構造トラッカ又は骨のような基準座標系に対する目標座標系 T F の原点として表される。基準座標系及び患者座標系は、同じであっても異なってもよいことが理解されるべきである。いくつかの例では、基準座標系は、患者座標系と同一であり得る。目標向きは、解剖学的構造トラッカ又は骨のような基準座標系に対する目標座標系 T F の x 軸、y 軸及び／又は z 軸に対する 1 つ以上の向き成分、例えば、目標 x 向き、目標 y 向き、及び／又は目標 z 向きを含んでもよい。いくつかの場合においては、目標向きは、解剖学的構造トラッカ又は骨のような基準座標系に対する目標座標系 T F の x 軸、y 軸、及び z 軸の向きとして表される。目標姿勢は、1 つ以上の位置成分と 1 つ以上の向き成分との組合せを意味する。いくつかの場合においては、目標姿勢は、目標座標系 T F の 6 自由度全てよりも少ない自由度で目標位置及び目標向きを含んでもよい。例えば、特定の一構成においては、目標姿勢は、単一の位置成分と 2 つの向き成分とによって定義されてもよい。いくつかの場合においては、目標位置及び／又は目標向きは、開始位置及び／又は開始向きとも呼ばれ得る。別の構成においては、目標姿勢は、既知の座標系に対して固定された軸として定義されてもよい。

10

20

【0085】

図 1 1 を参照すると、目標状態は、挙動コントローラ 1 8 6 への入力である。目標状態は、ツール 2 0 が目標平面又は目標軌道に調節される、目標位置、目標向き、又はその両方であってもよい。いくつかの例においては、T C P の位置のみが挙動コントローラ 1 8 6 から出力され、他の例においては、ツール 2 0 の位置及び向きが出力される。いくつかの例においては、挙動コントローラ 1 8 6 の指令姿勢出力は、位置、向き、又はその両方を含んでもよい。いくつかの例においては、境界生成器 1 8 2 及び任意の力／トルクセンサのような 1 つ以上のセンサからの出力は、手持ち部分に対するツールについての次の指令位置及び／又は向きを決定するために、挙動コントローラ 1 8 6 に入力として供給されてもよい。挙動コントローラ 1 8 6 は、これらの入力を、以下に更に説明される 1 つ以上の仮想制約とともに処理して、指令姿勢を決定してもよい。

30

【0086】

動きコントローラ 1 8 8 は、複数のアクチュエータの動き制御を実行する。動き制御の一態様は、手持ち部分 1 6 に対するツール支持体 1 8 の制御である。動きコントローラ 1 8 8 は、次の指令姿勢を定義するデータのようなデータを、挙動コントローラ 1 8 6 から受信する。これらのデータに基づいて、動きコントローラ 1 8 8 は、ツール 2 0 が挙動コントローラによって出力された指令姿勢において位置決めされるように、（例えば逆運動学（inverse kinematics）を介して）ツール支持体 1 8 に結合された複数のアクチュエータのそれぞれの指令関節位置を決定する。言い換えれば、動きコントローラ 1 8 8 は、直交空間において定義され得る指令姿勢を、ツール支持体 1 8 に結合された複数のアクチュエータの指令関節位置へと処理し、それにより、器具コントローラ 2 8 は、それに応じて、ツール支持体 1 8 を、手持ち部分に対するツールの指令姿勢に対応する指令関節位置へ動かすよう、アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 に指令することができる。1 つのバージョンにおいては、動きコントローラ 1 8 8 は、複数のアクチュエータの関節位置を調整し、アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 が器具に指令姿勢をとらせることを可能な限り確実にするように、各アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 が出力するトルクを継続的に調節する。代替として及び／又はこれに加えて、動きコントローラ 1 8 8 は、指令関節位置を、関節レベルの位置制御に対処する別個のモータコントローラのセット（例えば各アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 に対して 1 つ）に出力してもよい。いくつかの例においては、動きコントローラ 1 8 8（又はモータコントローラ）は、動的追跡及び過渡応答を改善するた

40

50

めに、フィードフォワード制御を使用してもよい。かかる場合においては、指令関節位置に加えて、動きコントローラ 188 はまた、フィードフォワード関節速度（又は指令関節速度）及び潜在的にフィードフォワード関節トルク（及び／又はモータ電流）を計算してもよい。そして、このデータは、アクチュエータ 21、22、23 をより最適に駆動するために、モータコントローラの制御ループ内で使用される。

【0087】

位置制御が詳細に説明されるが、同様の制御の実施態様が関節角度制御とともに使用されてもよいことは、理解されるべきである。さらに、動きコントローラは、関節角度制御及び関節位置制御を使用してもよい。いくつかの例においては、関節角度は関節位置と交換されてもよい。器具上の関節タイプ、アクチュエータタイプ、又はその両方に依存して、関節角度、関節位置、又はその両方が使用されてもよい。例えば、動きコントローラは、1 つ以上のアクチュエータについての指令姿勢に基づいて、指令関節角度を決定してもよい。

【0088】

図 7 を参照すると、制御システム 60 によって利用され、器具コントローラ 28 及び／又はナビゲーションコントローラ 36 上で動作するソフトウェアは、境界生成器 182 を含んでもよい。境界生成器 182 は、ツール 20 の動き及び／又は動作を制約するための仮想境界 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。仮想境界 184 は、1 次元、2 次元、3 次元であってもよく、点、線、軸、軌跡、平面、又はその他の複雑な幾何学的形状を含む形状を含んでもよい。仮想境界はまた、計画された軌道に垂直に定義された平面又は線であってもよい。いくつかの実施形態では、仮想境界 184 は、三角形のメッシュによって定義される表面である。仮想境界 184 は、仮想オブジェクトとも呼ばれ得る。仮想境界 184 は、インプラント座標系において、3D 骨モデルのような解剖学的モデル AM に関して定義されてもよい。解剖学的モデル AM は、解剖学的モデル AM がレジストレーション又はその他の処理を介して患者の解剖学的構造にマッピングされることによって、実際の患者の解剖学的構造と関連付けられる。

【0089】

仮想境界 184 は、画素、点群、ボクセル、三角形のメッシュ、その他の 2D 又は 3D モデル、これらの組合せ等によって表されてもよい。米国特許出願公開第 2018/0333207 号公報及び米国特許第 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いずれかが、外科的処置の計画又は実行を容易化するために使用され得る。仮想境界 184 を生成するためのシステム及び方法の一例は、「Surgical Manipulator Capable of Controlling a Surgical Instrument in Multiple Modes」と題された米国特許第 9,119,655 号に記載されており、その開示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。いくつかの例においては、仮想境界 184 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 上ではなく、オフラインで生成されてもよい。その後、仮想境界 184 は、器具コントローラ 28 によって実行時に利用されてもよい。

【0090】

後方保護 (posterior protection) を提供する境界を含む、境界の位置及び／又は形状をどのように決定することができるかについては、様々なオプションがある。前述したように、境界は「インプラント固有」、すなわち、平面切断部ごとにインプラントの種類／サイズに基づいてデータベースに保存される事前定義された形状としてもよく、骨に対するその姿勢は、インプラント位置決めワークフローの一部として外科医の入力に基づいて調整される（すなわち、境界はインプラント座標系で定義されてもよく、インプラントの配置とともに移動する）。代替として、境界を「患者固有」、すなわち、CT スキャン等の術前画像に基づいて自動的又は手動で計算してもよい。境界は、術前又は術中のいずれかに、GUI 上の骨（実際又は生成された）の表現に重ねられたオーバーレイとしてユーザによって（タッチスクリーン又はマウスを介して）「描画」してもよい。別のオプションは、境界が外科医によってインタラクティブに配置又は生成される固定形状である

ことである。例えば、ユーザにナビゲートされたポインタを使用して、後方保護境界を配置する所望の切断深さを（対応する位置の骨にポインタの先端を当てて）選択させることが望ましい場合がある。2つの境界が生成又は作成される場合、位置オフセットを適用することで（例えば、移動するために）、より近い境界である「再有効化境界」（re-enable boundary）が自動的に生成され得る。

【0091】

解剖学的モデルAM及び関連する仮想境界184は、1つ以上の患者トラッカ54、56にレジストレーションされる。かくして、解剖学的モデルAM（及び関連する実際の患者の解剖学的構造）及び解剖学的モデルAMに固定された仮想境界184は、患者トラッカ54、56によって追跡され得る。仮想境界184は、インプラント固有のもの、例えば、インプラントのサイズ、形状、体積等に基づいて定義されたもの、及び／又は患者固有のもの、例えば、患者の解剖学的構造に基づいて定義されたものであってもよい。インプラント固有の仮想境界は、特定のサイズの境界、例えば、使用される特定のインプラントに対して1：1のインプラント固有の境界を有してもよい。他の場合においては、境界は、インプラントの実際の寸法より大きくてもよいし、又は小さくてもよい（例えば2：1、1：2など）。特定のインプラントについてのインプラント固有の境界は、任意に形成されてもよい。いくつかの例においては、インプラント固有の境界は、固定された又は設定された量だけ、インプラントサイズを超えてオフセットされてもよい。仮想境界184は、術前に、術中に、又はこれらの組合せで生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、外科的処置が始まる前に、外科的処置の間に（組織除去の間を含む）、又はこれらの組合せで定義されてもよい。いずれの場合においても、制御システム60は、仮想境界184をメモリに記憶する／メモリから検索すること、仮想境界184をメモリから取得すること、仮想境界184を術前に生成すること、仮想境界184を術中に生成すること等により、仮想境界184を取得する。言い換えれば、インプラントの計画された姿勢、インプラントの計画されたサイズ、形状、体積等から、1つ以上の仮想境界が取得されてもよい。インプラント座標系と解剖学的モデル座標系とは、本説明を通して交換可能であるとみなされ得る。

【0092】

仮想境界184は、様々な態様で使用され得る。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の或る特定の動きを制御すること、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すること、境界上に留まる（例えば点、軌道、及び／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すること、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の或る特定の動作／機能を制御すること、及び／又は器具14の駆動モータMに対する通電を制御することを行ってもよい。境界184の他の使用も企図される。図13を参照すると、潜在的な実施態様において、仮想境界184は、切断部の遠位、すなわち遠位境界DBに位置する、概して平面的なメッシュを含んでもよい。この仮想境界184は、3D骨モデルに関連付けられてもよい。この仮想境界は、鋸駆動モータMを制御するために使用されてもよい。他の例においては、境界生成器182は、複数のアクチュエータを制御する目的のために、仮想境界184を提供する。この例においては、仮想境界は、仮想シミュレーションにおける仮想質量及び仮想鋸刃／ツールの動きに影響を及ぼす制約を生成するために使用されてもよい。かかる実施態様においては、仮想境界は、仮想切断ガイド（例えば仮想鋸切断ガイド）を確立してもよい。仮想境界184はまた、鋸駆動モータの制御又は複数のアクチュエータの制御のいずれかのために、以下に説明されるような様々な操作／制御領域を画定するために提供されてもよい。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（解剖学的構造又はその他の境界によって境界付けられた無限平面又は平面セグメント）、体積又はその他の複合幾何形状を含む形状を含んでもよい。

【0093】

図10及び図14を参照すると、インプラント（IM）の姿勢は、インプラント座標系

において大腿骨 F に対して計画されてもよい。そして、インプラントのこの計画された姿勢は、様々なナビゲーション変換を通して患者トラッカ 54、56 のうち的一方に対して定義されてもよく、インプラントの姿勢は、目標平面 (TP) 又は仮想境界のような、計画された仮想オブジェクトの基礎であってもよい。目標平面は、計画されたインプラントの姿勢を達成するために、骨に対してどのような切断が行われる必要があるかの表現であってもよい。言い換えれば、目標平面 (TP) は、計画されたインプラントが骨に接触することを意図する平面と位置合わせされてもよい。いくつかの例においては、目標平面 (TP) の位置は、鋸刃の厚さを考慮するよう調節される必要があり得る。一例においては、鋸刃の遠位先端において、TCP 座標系は、鋸刃の中心において鋸刃の厚さの半分の点に配置されてもよい。切断面の位置は、特定の切断の間に鋸刃のどちらの側が骨に当接しているかに基づく方向において、鋸刃の半分の厚さだけ調節されてもよい。目標平面に沿って切断することにより、その結果として大腿骨から除去されることとなる骨は、計画されたインプラントが骨に適切に着座することを可能にすることとなる。目標平面 TP は、以下に説明されるように、目標状態の形をとってもよい。代替としては、目標平面 TP は、複数のアクチュエータを制御するために使用され得る、仮想境界の一形態として生成されてもよい。

10

【0094】

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こととなる。複数のアクチュエータを制御するために使用され得る仮想境界 184 はまた、境界内及び所望の切断面上に留まるよう鋸刃を制約するために、刃の厚さに等しい及び／又はそれよりわずかに大きい厚さを有するもののような、体積境界であってもよい。それゆえ、所望の切断面は、仮想平面境界、仮想体積境界、又はその他の形の仮想境界によって定義されてもよい。いくつかの例においては、仮想境界 184 の切断スロットは、鋸刃の厚さを考慮するようオフセットされる必要があり、それにより、スロット境界 (その切断のために骨に接触する鋸刃の側に対応する) が、最終的な所望のインプラントー骨表面と位置合わせされ、他方の境界が、完全な刃の厚さだけオフセットされる。別の例においては、スロット境界のためにわずかに大きな厚さが使用され、切断スロットの垂直中心線が鋸刃の半分の厚さだけオフセットされるようにする。仮想境界 184 は、仮想オブジェクトとも呼ばれ得る。仮想境界 184 は、3D 骨モデルのようなインプラント座標系における解剖学的モデル AM に関して定義されてもよい (解剖学的モデル AM がそれらのレジストレーションのため実際の大腿骨 F に仮想的に重ね合わされていることを示す図 10 を参照)。言い換えれば、仮想境界 184 に関連付けられた点、線、軸、軌跡、平面、及び体積等は、解剖学的モデル AM の追跡 (例えばそれがレジストレーションされている関連する解剖学的構造の追跡を介した) 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ている座標系において定義されてもよい。

20

30

【0095】

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 の患者トラッカ 54 にレジストレーションされる。仮想境界 184 は、インプラント固有のもの、例えば、インプラントのサイズ、形状、体積等に基づいて定義されるものであってもよく、及び／又は、患者固有のもの、例えば、患者の解剖学的構造に基づいて定義されるものであってもよい。インプラント固有の境界は、インプラントの物理的な寸法よりも大きくてもよいし、又は小さくてもよい。仮想境界 184 は、術前に、術中に、又はこれらの組合せで生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、外科的処置が始まる前、外科的処置の間 (組織除去の間を含む)、又はこれらの組合せで定義されてもよい。仮想境界 184 は、制御システム 60 が生成することによって、又は他のソース／システムから受け取ることによって等のような、多くの方法で提供され得る。仮想境界 184 は、検索及び／又は更新のためにメモリに格納されてもよい。

40

【0096】

50

全膝インプラントIMを受容するために大腿骨Fを調製するとき（図1を参照）のような、いくつかの場合においては、仮想境界184は、全膝インプラントIMのための複数の切断面（例えば5つの切断面）を画定するために使用され得る、複数の平面境界を含み、大腿骨Fの遠位端の3Dモデル及び／又は脛骨の3Dモデルに基づく切断面に関連付けられている。これらの複数の仮想境界184及び／又は目標平面は、制御システム60によって一度に1つずつアクティブにされて、一度に1つの平面を切断するように複数のアクチュエータを制御することができる。これらの切断面のそれぞれは、制御システムのための目標平面であってもよい。例示的な仮想境界184は、説明の目的のために、図13に示されている。図13は、目標平面がインプラント境界と位置合わせされていることを示しているが、これは概略表現であり、目標平面は計画されたインプラント境界からわずかにオフセットされていてもよいことは、理解されるべきである。他の形状及び構成も可能である。図13は、それぞれの所望の目標平面を有する、一連の切断を示している。大腿骨の遠位端のそれぞれは、大腿骨へのアクセスを提供する入口部分を示す。入口部分は、5つの目標切断面TPである73A～73Eのうちの1つに沿って定義された切断スロット内へと続いている。他の場合においては、仮想境界は、ドリルビット又はタップの挿入のためのような、大腿骨又は椎骨へのような骨への、回転ツールの挿入のための、計画された軌道であってもよい。ここでもまた、複数の仮想軌道は、一度に1つの軌道を穿設するように複数のアクチュエータを制御するために、一度に1つずつがアクティブであってもよい。

10

20

30

【0097】

仮想境界が鋸駆動モータ（又はその他の駆動モータ）を制御するために使用される場合においては、図13及び図15を参照すると、仮想境界184は、全膝インプラント又はその他の外科手術を受けるために膝を調製するときに、鋸又はツールの面内切断深さ又は幅（DB、LB）を画定するために使用され得る境界を表し得る。鋸についての面内切断深さ又は幅（DB、LB）は、明確な境界ではなく、3D境界モデルの特徴であり得る。それらの遠位境界DBは、目標切断面又は目標軌道に対して概ね垂直であってもよく、任意に患者の解剖学的特徴（大腿骨の遠位面、靱帯、動脈、軟組織等）に対して輪郭付けられてもよい。このことは、重要な構造の不注意による切断を回避し得る。駆動モータを制御するために使用される仮想境界184は、1つ以上の横方向境界（LB）を含んでもよい。これらの横方向境界（LB）は、横方向において目標深さを超えて切断することを防止するように機能し得る。いくつかの例においては、3D境界における深さ境界及び横方向境界によって定義される切断スロットは、鋸刃が十分に平面上に留まらない場合（器具及び／又は骨の突然の高速な動きの場合、又は別のシステムの故障に対する緩和として）、又はツールが軌道上に留まらない場合に、駆動モータMをオフにすることのような、二次的な誤差の緩和機能のために使用されてもよい。鋸駆動モータを制御するための境界は、選択された目標平面に基づいて選択的にアクティブにされてもよい。同様に、ツール駆動モータを制御するための境界は、選択された目標軸に基づいてアクティブにされてもよい。

【0098】

いくつかの場合においては、切断深さを画定する仮想境界は、5mmの平面オフセットといった固定境界オフセットのような、及び各計画切断面（TP）又は目標軌道に垂直な、計画された仮想オブジェクトの姿勢に基づいてもよい。再び図13を参照すると、5つのTPが、計画されたインプラントが骨に接触することが意図される各平面と位置合わせされ、遠位境界DBは、各切断についてTPに垂直であり、計画されたインプラントが骨に接触する平面の遠位端から所定の距離をオフセットするものとして、実装される。いくつかのバージョンにおいては、制御システム60は、鋸刃が深さ境界DBを閾値量よりも大きく侵犯するか否かを評価し、駆動モータMの動作を停止するように器具コントローラ28に指令してもよい。いくつかの例においては、器具コントローラ28は、駆動モータMの動作を停止せず、駆動モータMのユーザ制御による開始、停止、及び／又は速度制御に依存してもよい。

40

50

【0099】

図35及び図53を参照すると、或る特定の場合には、図35のDB等の1つ以上の境界の位置は、ポインタPT又は他の器具を使用して設定することができる。骨のレジストレーションプロセス中に、システムはユーザにポインタPT又は他の器具を位置決めして境界の位置を設定するように促すことができる。制御システム60は、ローカライザ44を使用してポインタPTを位置決めし、決定された位置に基づいて境界DBを設定することができる。この境界は、鋸駆動モータ等のツール駆動モータMを制御するために制御システム60によって使用され得る。境界35は、目標平面TPの1つに関連付けることができ、目標平面TPと交差する直方体等の3次元オブジェクトとして構成することができる。この方法は、境界DBを画定するために脛骨Tの表面に接触するようにポインタPTを位置決めすることを含むことができる。もちろん、ポインタPTを他の解剖学的構造に接触するように位置決めして、他の所望の境界を画定することもできる。更に代替として、所望の境界を設定するために、ポインタPTは、特定の場合には必ずしも患者の解剖学的構造に接触する必要はない。

10

【0100】

アプリケーションは、骨切除の許容後方深さを表すために点をデジタル化し、ポインタPTが適切に位置決めされたときにポインタPT上のボタン等の制御面を係合するようにユーザに促してもよい。選択された境界は、提案された切断面上の骨の画像上で、ユーザが選択した点に対応する深さで線として表示され得る。図35を参照すると、制御システム60は、前面が選択された点と位置合わせされる長方形のボックスDBを使用してこの境界をモデル化することができる。規定の閾値を超えて鋸刃20又は他のツールがボックスDBを貫通した場合、制御システム60は鋸駆動モータをオフにする。いくつかの実施態様では、制御システム60は、実際には、ブレード機構の機械的公差を考慮して、又は駆動モータMのターンオフ遅延を考慮して、選択された点よりも前方等、境界DBをより控えめに配置することができる。境界DBは、選択した点より少なくとも0.25mm、少なくとも0.5mm、又は少なくとも1mm前方に位置してもよい。代替として、境界DBの前縁は、選択された点より0.1mm～1.5mm前方に位置してもよい。

20

【0101】

アプリケーションにより、ユーザは、アイコンをオフにする等、ユーザインタフェースUIとのインタラクションを通じて、駆動モータMの制御に関連する1つ以上の境界を無効にすることができる。これにより、ユーザは最初にデフォルトで有効になっている境界を用いて骨の大部分を除去し、そして、駆動モータ境界を無効にして、残りの骨を除去することが可能になり得る。

30

【0102】

いくつかの場合においては、器具コントローラ28は、駆動モータMのモータパラメータを第1の値及び第2の値で制御し、ここで第1の値は第2の値と異なり、器具コントローラ28は、ツール20の位置及び仮想境界のような骨に関連する基準位置の位置に基づいて、又は計算された距離パラメータに基づいて、第1の値から第2の値へ動作を変更してもよい。

【0103】

ツール20が骨の切断部又は穴の中に進むと、器具コントローラ28は、基準位置に対するツール20のナビゲーションデータを使用して、又は骨に関連するツールの姿勢に基づいて、駆動モータMの作動を許可してもよい。さらに、器具コントローラ28は、ツール20が、骨に関連する基準点又は境界に関する、或る特定の姿勢、距離パラメータ値又は位置に到達したか否かに基づいて、駆動モータMをオフにしてもよい。いくつかの場合においては、軟組織、除去されていない骨、及びその他の処置において使用される外科用機器による、制限された視線のため、外科的処置を実行しながら、骨内のツール20の深さを知覚することに、ユーザが困難性を見出し得る。ユーザはまた、隣接する解剖学的構造が鋸刃20又はツールに圧力を加えるため、ツール20の深さを知覚することに困難性を有し得る。ツール20の姿勢又は位置に基づいて駆動モータMを制御することによって

40

50

、ユーザは、より正確に切断の深さを制御することが可能となり得る。

【0104】

いくつかの例においては、器具コントローラ28が、駆動モータMのパラメータを変更することによって動作モードを変更すると、器具14、入力デバイス、ナビゲーションシステム32、器具コントローラ28、又はこれらの組合せは、モードが変更されたことを可聴指標、触覚指標、又はその両方により提供してもよい。一例においては、入力デバイスはフットスイッチであってもよく、器具のモードが変更された場合に、駆動モータMの速度を制御して、フットスイッチが振動してもよい。別の例においては、モード及び／又は制御挙動が駆動モータMを加速又は減速するように変更された場合に、ユーザは、音量、ピッチ、振動、又はこれらの組合せを変化させて、器具のモード及び／又は制御挙動が変更されたことを示す、駆動モータMのモータ速度のような可聴指標を知覚し得る。

10

【0105】

以上に説明されたように、器具コントローラ28及び／又はナビゲーションコントローラ36は、仮想境界184に対する鋸刃の位置及び／又は向きのような、ツール20の状態を追跡する。一例においては、このことは、ツール駆動モータMを制御する目的のために、TCPの状態が仮想境界184に対して測定されることをモニタリングすることとして記述され得る。言い換えれば、制御システムは、器具の仮想モデルVMの任意の態様が、閾値を超える量だけ仮想境界184に侵犯した場合に、鋸駆動モータMを減速又は停止することのように、仮想境界184に対して測定されたTCPの状態に基づいて、鋸駆動モータMを制御してもよい。いくつかの例においては、ツールの姿勢(TCP座標系)は、ツール20の任意の態様が、閾値を超える量だけ仮想境界184に侵犯するか否かを評価するために利用されてもよい。器具コントローラ28は、仮想境界184の侵犯について評価され得る刃のモデル(例えばCADモデル又は幾何学的プリミティブを使用する簡略化されたモデル)を有してもよい。いくつかの例においては、ツール20の範囲は、ツール20の先端の押しのけ体積の周辺に配置された離散的な球のアレイでモデル化されてもよく、このとき球の直径はツール20の厚さに一致し、位置はTCP座標系に対して定義される。さらに、仮想境界184は、開端面であってもよいし、閉じた面であってもよい。仮想境界184が閉じた面として構成される場合、仮想境界184は、器具14が仮想境界の「外側」で作動させられ得るが、仮想境界を閾値量だけ越えた後にシャットオフされる、「キープアウト」(keep out)境界として機能してもよい。同様に、閉じた面の仮想境界は、器具14が仮想境界184内でのみ作動し、器具が仮想境界184から閾値よりも大きい量だけ「離れる」と器具14をシャットオフする、「キープイン」(keep in)境界として機能してもよい。

20

30

【0106】

別の例においては、ツール20が仮想境界184に対して所望の位置関係に留まるように(例えばそれを越えて動かないように)、仮想シミュレーションを介して仮想剛体モデルに適用されるべき力を決定する目的のため、TCPの状態が、仮想境界184に対して測定される。仮想シミュレーションの結果は、ツール支持体18に結合された複数のアクチュエータを制御する際に、処理される。境界生成器182は、器具コントローラ28上で実装されてもよい。代替としては、境界生成器182は、ナビゲーションコントローラ36のような、他の構成要素上で実装されてもよい。

40

【0107】

境界生成器182、挙動コントローラ186及び動きコントローラ188は、ソフトウェアプログラム378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及び／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、挙動コントローラ186及び／又は動きコントローラ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378は、器具コントロ

50

ーラ 28、ナビゲーションコントローラ 36 又はその両方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。

【0108】

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、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 及び／又はツール面 TP を実行のために器具コントローラ 28 に送信する。器具コントローラ 28 は、本明細書で説明されるように、目標平面 TP 又は目標軌道を実行する。また、器具コントローラ 28 は、以下に更に説明されるように、仮想境界 184 を処理して、対応する仮想制約を生成してもよい。

【0109】

図 16 を参照すると、例示的な制御が、様々な変換に関して説明されている。TCP は、ローカライザ座標系 LCLZ に関してツールトラッカ 52 (TT) でツール 20 を追跡し (LCLZ-TT 変換)、レジストレーションデータ又は較正データを使用して、ツールトラッカ 52 と鋸刃のようなツール 20 の TCP との間の変換 (TT-TCP 変換) を決定することによって、位置特定される。同様に、患者は、(54 として示される) 患者トラッカを使用して追跡され、ローカライザ座標系 LCLZ から患者トラッカ座標系への変換 (LCLZ-PT 変換) に帰着する。

【0110】

図 11 に関して説明されたように、骨レジストレーション処理を通して、骨から患者トラッカ 54、56 への変換が確立される (骨から患者トラッカ)。インプラント計画処理を通して、骨からインプラント／解剖学的モデルへの変換が確立される (骨から IM の変換)。そして、患者トラッカ 54 から計画されたインプラント (患者トラッカから IM) への変換が計算される。計画されたインプラント (IM) は、選択されたインプラント構成要素の平面セクションの位置及びサイズが与えられると、目標平面に関連してもよく (IM から TP の変換)、又は目標軌道に関連してもよい (以下に更に説明される、図 44 を参照)。再び図 16 を参照すると、レジストレーションデータと計画情報との組合せを使用して、患者トラッカ 54、56 と、各目標平面のような (PT-TP 変換)、又は各目標軌道のような (PT-軌道変換)、各計画された仮想オブジェクトとの間で、変換が計算される。

【0111】

ツール支持体 18 の位置及び／又は向き、及びそれゆえ TCP は、ツールトラッカ 52 に関連してもよい (レジストレーション又は較正処理を介して計算される、ツール支持体からツールトラッカへの変換)。以上に説明されたように、いくつかの実施態様においては、手持ち部分 16 と TCP との間の変換 (BCS-TCP) は、各アクチュエータの位置に基づいて計算される。指令姿勢は、或る特定の制御の実施態様について BCS に対して決定され得るので、BCS と TCP との間の変換は、様々な座標系を手持ち部分 16 に関連付け戻すために利用される。概念的には、指令姿勢は、本例においては、TCP が計画された仮想オブジェクト (目標平面 TP) と位置合わせされることに帰着する、BCS から TCP への変換に対する更新である。代替として、手持ち部分 16 の姿勢は、手持ち部分 16 に直接に結合された手持ち部分トラッカ 53 を使用することによって、いくつかの例において直接に決定されてもよい。このことは、TCP 座標系を利用し、各アクチュエータの位置に基づいて BCS と TCP との間で変換を実行する必要性を除去し得る。

【0112】

ベース座標系 BCS に対する TCP の初期姿勢は、アクチュエータ 21、22、23 が

そのホーム位置／中心点又はその他の所定の位置にあるときのツール支持体と手持ち部分 16 との間の既知の幾何学的関係に基づいて、決定され得る。これに加えて及び／又は代替として、エンコーダを使用して初期姿勢を測定し、BCS に対する TCP の測定姿勢を得るために順運動学 (forward kinematics) を計算し、仮想シミュレーションを初期化するために当該姿勢を使用することによって、初期姿勢が仮想シミュレーションへと「シード」 (seed) されてもよい。この関係は、アクチュエータ 21、22、23 が調節されると変化し、関連する変化は、(例えば、これらの座標系間の動的変換を確立する) ロボットシステム 10 の運動学に基づいて決定され得る。かくして、ロボットシステム 10 には、ホーム位置におけるようなツール 20 の姿勢、及び手持ち部分 16 の姿勢に対するその関係が、既知となる。したがって、ツール 20 がユーザによって動かされ、その姿勢がツールトラッカ 52 を使用して追跡されるとき、ロボットシステム 10 もまた、手持ち部分 16 の姿勢及びそのベース座標系 BCS を追跡する。いくつかの例においては、以前の較正処理の結果として、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仮定される。アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれのホーム位置／中心点及び最大移動量が確立された後は、制御は、ナビゲーションコントローラ 36 からの位置及び／又は向きデータ、及びアクチュエータの測定された位置データに基づくものとなる。ホーム位置は、他の態様で計算されてもよい。全てのアクチュエータがそれらのホーム位置にあるとき、これは、器具のホーム状態を集合的に定義する。ホーム状態は、ツール支持体の姿勢に対する手持ち部分の姿勢を伴ってもよく、すなわち、直交座標空間において定義されてもよく、又は器具のホーム状態は、複数のアクチュエータ及び／又は関節のアクチュエータ空間 (位置) 又は関節空間 (角度) において定義されてもよい。

10

20

【0113】

患者トラッカ 54、56 及びツールトラッカ 52 の両方が、ローカライザ座標系 LCLZ に関してローカライザ 44 によってそれぞれ報告され、LCLZ-PT 及び LCLZ-TT を提供するので、これらの変換は、ツールトラッカ 52 と患者トラッカ 54、56 との間の変換 (TT-PT) を決定するために、一緒に処理され得る。そこから、ベース座標系から患者トラッカへの (BCS-PT) 変換が、制御システム 60 によって算出され、手持ち部分 16 に対する患者トラッカ 54、56 の位置を計算することができる。患者トラッカ 54、56 に対する目標平面 TP は既知であるので、制御システム 60 は、ベース座標系 BCS から目標平面 TP への (BCS-TP) 変換を算出することができ、手持ち部分 16 の座標系における目標平面の姿勢 (BCS) に帰着する。一例においては、BCS-TP は、TCP を目標切断面 TP 上に置く指令姿勢 BCS-TCP を算出するために直接に使用されてもよく、そして、これが、ツール 20 を所望の姿勢に動かすためにアクチュエータ 21、22、23 に指令されてもよい。いくつかの例においては、BCS-TCP 算出は、仮想シミュレーション VM 内で TCP を TP に引き寄せるための制約を生成するために使用されてもよい。全文を通して目標平面変換が説明されるが、目標平面の代わりに目標軌道に関連する変換もまた本明細書で企図されることは、理解されるべきである。

30

【0114】

いくつかの例においては、デジタルフィルタが、ローカライザから受信した入力データに直接、順運動学から受信された入力データに (例えば、動きコントローラ 188 に直接) 、又は以上に説明された変換の任意の中間的な組合せに、適用され得る。いくつかの例においては、移動平均フィルタが使用され得るが、他のデジタルフィルタリング技術が適用可能であり得る。

40

【0115】

器具コントローラ 28 は、少なくとも 1 自由度で目標状態に向けてツール 20 を調節するために、各アクチュエータ 21、22、23 に指令信号を送信することによって、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、各アクチュエータ 21、22、23 に指令信号を送って、アクチュエータ 21、22、23 を、位置の第 1 のセットから、ツール 20 を目標状態にする指令位置のセットに動かして得

50

る。いくつかの例においては、指令位置は、ナビゲーションシステム 32 と連携して、手持ち部分 16 の姿勢と、仮想オブジェクトの姿勢（目標切断面又は目標軌道）のような既知の座標系（すなわち患者トラッカ 54、56 に対して定義される）における目標状態とに基づいて、器具コントローラ 28 によって決定され、指令位置に調節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。

【0116】

第2のソフトウェアモジュールは、動きコントローラ 188 である。動きコントローラ 188 の1つの機能は、器具 14 の制御である。動きコントローラ 188 は、挙動コントローラ 186 から、次の指令姿勢のような、鋸刃 20 の目標状態 380 を定義するデータを受信してもよい。これらのデータに基づいて、動きコントローラ 188 は、器具 14 が挙動コントローラ 186 によって指令されたようにツール 20 を位置決めすることが可能となるように、例えば指令姿勢へと器具を制御するように、（例えば逆運動学を介して）各アクチュエータ 21、22、23 のロータ 148 の次の指令関節位置を決定する。言い換えれば、動きコントローラ 188 は、直交座標空間において定義され得る指令姿勢を、器具 14 の（指令関節位置のような）アクチュエータ位置へと処理し、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、指令姿勢に対応する指令関節位置のような、指令位置へと動かすことができる。或るバージョンにおいては、動きコントローラ 188 は、各モータ 142 の関節位置を調整し、モータ 142 が関連するアクチュエータ 21、22、23 を指令関節位置に駆動することを可能な限り確実にするために、各モータ 142 が出力するトルクを継続的に調節する。別のバージョンにおいては、器具コントローラは、各モータ 142 の関節位置を調整し、モータ 142 が関連するアクチュエータ 21、22、23 を指令関節位置に駆動することを可能な限り確実にするために、各モータ 142 が出力するトルクを継続的に調節する。

【0117】

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 を調節し得る全長が、器具コントローラ 28 に既知であってもよい。いくつかの例においては、アクチュエータ 21、22、23 が調整することが可能な全長が、器具コントローラ 28 に既知であり、該器具コントローラが、位置から位置へと測定された距離を動くように（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 に指令信号を送信してもよい。測定された位置は、既知の位置であってもよいし、又は、アクチュエータ 21、22、23 の現在の位置とアクチュエータ限界との間の距離であってもよい。アクチュエータ 21、22、23 が動く先の各位置は、アクチュエータ移動の正の限界及び負の限界（すなわち、リードスクリュウの両端間の位置）からの測定される距離であってもよい。器具コントローラ 28 は、アクチュエータ 21、22、23 を以下に説明されるような位置へと及び位置から指令してもよい。器具コントローラは、ツール 20 の所望の調節に到達するために、アクチュエータ 21、22、23 を或る位置へと指令してもよい。器具コントローラ 28 は、ツール 20 を所望の姿勢に向けて調節するために、算出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。アブソリュートエンコーダが使用される場合のような、他の例においては、器具コントローラは、アブソリュート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限界の間の、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、信号をアクチュエータ 21、22、23 に送信してもよい。代替として、一例においては、インクリメンタルエンコーダが、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出願公開第 2017/0156799 号公報に記載されるように、システムの設定の間に実行されるホーミング手順と連携して使用されてもよい。アクチュエータ 21、22、23 及び関節をそれらの中心位置に配置し、その後、インクリメンタルエンコーダの絶対オフセットを決定する、ホーミング手順が使用されてもよい。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って、インクリメンタルエンコーダは、前進するアブソリュートエン

コーダとして動作し得る。

【0118】

いくつかのバージョンにおいては、器具コントローラ28は、各アクチュエータ21、22、23について、アクチュエータの指令位置と測定された位置との間の差を決定する。器具コントローラ28は、（アクチュエ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節する。目標電流は、アクチュエータ21、22、23の動きを生じさせ、各アクチュエータ21、22、23を指令関節位置に向けて動かし、その結果、器具を指令姿勢に向けて動かす。このことは、指令姿勢が関節位置に変換された後に起きてもよい。一例においては、各関節の測定された位置は、エンコーダのような以上に説明されたセンサSから導出されてもよい。

10

【0119】

本説明を通して、特に断らない限り、姿勢の任意の例は、現在の指令姿勢、現在の測定された姿勢、過去の測定された姿勢、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、互いに異なっているが、制御サイクルの頻度により、これらの姿勢間の位置及び／又は向きの差は、各制御反復において最小であってもよい。さらに、位置の任意の例は、現在の指令位置、現在の測定された位置、過去の測定された位置、又は過去の指令位置であってもよい。

【0120】

複数のアクチュエータを制御して、目標平面又は目標軌道のような所望の場所にツールを配置するために、限定するものではないが、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装を使用するハイブリッド制御を含む、種々の制御方法が使用され得る。アドミタンス制御の実装が詳細に説明されるが、他の方法が使用され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においては、制御システムは、（仮想の又は測定された）力の入力を受け取り、位置（又は動き）の出力を指令する。例えば、アドミタンス制御については、システムは、仮想質量上の特定の位置における力及び／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ために仮想質量の姿勢を変更するように動作する。インピーダンス制御モードにおいては、制御システムは、位置（又は動き）の入力を受け取り、力又はトルクの出力を指令する。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、及び／又は加速度）を測定、感知、及び／又は算出し、ツールの所望の目標状態を達成するために、アクチュエータのそれぞれに適切な対応するトルクを加えてもよい。位置制御はまた、或る特定の挙動の実装に向けて複数のアクチュエータを制御するために使用されてもよい。挙動コントローラ及び動きコントローラの両方に対する変更が、これらの制御方式を実装するために必要とされ得ることは、理解されるべきである。

20

30

【0121】

いくつかのバージョンにおいては、処置が始まると、器具コントローラ28は、ツール20を所望の姿勢から離れて（例えば仮想境界184又は計画された仮想オブジェクト（TP）の外側又はこれらから離れて）配置するユーザの能力の影響を緩和することができる。例えば、いくつかの実施態様においては、ツール20が所望の切断面から外れるように動いていること、又は骨から所定の距離だけ／所定の向きで離れるように動いていることの指標を、ナビゲーションシステム32が提供するとすぐに、器具コントローラ28は、駆動モータMへの通電信号の印加を直ちに終了し、ツール20が骨を削ることを防止し、軟組織の損傷を最小限に抑える。他の例においては、駆動モータMは、例えば、引用することにより本明細書の一部をなすものとする「Surgical tool system with a powered handpiece and a console, the console able to provide energization signals to the handpiece in either a motor drive mode or a direct drive mode」と題された米国特許第7,998,157号に記載されるように、モータブレーキを使用して減速又は停止されてもよい。この特徴のいくつかの実施態様において、ツール20の所望の姿勢との許容可能なずれは、切除の深さが増大するにつれて変化し得る。

40

50

【0122】

境界生成器182、挙動コントローラ186、及び動きコントローラ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。代替としては、それぞれは、その任意の組合せで別個に及び／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。本明細書では、「ソフトウェアプログラム」という用語は、説明された技術的手法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な命令を記述するために使用される。

【0123】

ここで図12を参照すると、目標座標系TFは、その原点及び軸が目標状態を定義する任意の座標系であってもよく、目標状態は、ツール20の目標状態に対するツール20の状態をモニタリングするために所望される任意の他の座標系に関して指定されてもよい。目標状態は、患者トラック座標系（例えば患者トラック54、56の座標系）、ローカライザ座標系LC LZ、ベース座標系BCS、仮想質量座標系VM、TCP座標系等において、追跡されてもよい。目標状態は、患者についてのインプラント座標系(IM)に関して最初に定義されてもよく、患者の解剖学的構造に関して固定され、1つ以上の患者トラックに対して固定されてもよい。本開示の目的のため、目標状態は、鋸刃の所望の姿勢を含んでもよい。

【0124】

ツール20の現在の状態は、ガイドされた座標系GF（ガイドされたフレームGFとも呼ばれる）により定義されてもよい。ガイドされた座標系GFは、他の座標系に結び付けられてもよく、又は、目標状態に対する現在の状態の追跡を可能にするために、現在の状態が他の任意の座標系に変換されてもよい。現在の状態は、トラック座標系（例えばツールトラック座標系(TT)）、ローカライザ座標系LC LZ、ベース座標系BCS、仮想質量座標系VM、TCP座標系等において、追跡され得る。本明細書で説明されるバージョンのうちのいくつかにおいては、ツール20の現在の状態は、最初にTCP座標系によって定義される（例えば、図示を容易にするために、TCP座標系とガイドされた座標系GFとは同じであるとして示されている）。ガイドされた座標系GF及び目標座標系TFの両方は、追跡の目的のために、共通の座標系に変換されてもよい。目標状態は、術前に、術中に、又はその両方で定義されてもよい。

【0125】

以上に説明されたように、複数のアクチュエータを制御するために、指令姿勢がしばしば設定される。この指令姿勢は、BCSとTCPとの間の所望の関係、すなわちツール支持体と手持ち部分との間の所望の関係であってもよい。指令姿勢は、既知の座標系における手持ち部分16の姿勢と、例えば計画されたインプラントの姿勢から推測された鋸刃の目標姿勢といった、計画された仮想オブジェクトの姿勢のような、同じ座標系（例えば患者トラック54、56に関連する座標系）における目標状態とに基づいて決定される。指令姿勢は、ツール20が所望の平面上にあるか、又は計画された軌道のような計画された仮想オブジェクトと位置合わせされることに帰着し得る。上述したように、器具コントローラ28は、逆運動学を使用して、指令姿勢を複数のアクチュエータのそれぞれについての指令位置に変換し、そして、指令位置に動くようにアクチュエータ21、22、23に指令命令を送信し、それによってツール支持体18及びツール20の相対姿勢を変化させてもよい。

【0126】

制御システム60は、ドリル、バー、プローブ、ガイド等又はこれらの組合せのような、他のタイプの器具及びアクチュエータアセンブリ構成を制御するように構成されてもよいことが企図される。例えば、本教示は、引用することにより本明細書の一部をなすものとする「Surgical instrument including housing, a cutting accessory that extends from the housing and actuators that establish the position of the cutting accessory relative to the housing」と題された米国特許第9,707,043号に記載された器具を制御するように実装されてもよい。例えば、図44に示

10

20

30

40

50

されるように、器具の代替例は、ドリル又はバーとしてツール 20 を有して示されている。例示的な制御は、様々な変換に関して説明される。TCP は、ローカライザ座標系 LCLZ に関してツールトラッカ 52 (TT) でツール 20 を追跡し (LCLZ-TT 変換)、レジストレーションデータ又は校正データを使用して、ツールトラッカ 52 とドリル／バーのようなツール 20 の TCP との間の変換 (TT-TCP 変換) を決定することにより、位置特定される。同様に、患者は、患者トラッカ (54 として示される) を使用して追跡され、ローカライザ座標系 LCLZ から患者トラッカ座標系への変換 (LCLZ-PT 変換) に帰着する。

【0127】

図 11 に関して説明されたように、骨レジストレーション処理を通して、骨から患者トラッカ 54、56 への変換が確立される (骨から患者トラッカ)。インプラント計画処理を通して、骨からインプラント／解剖学的モデルへの変換が決定される (骨から IM 変換)。そして、患者トラッカ 54 から計画されたインプラント (患者トラッカから IM) への変換が計算される。計画されたインプラント (IM) は、選択されたインプラントの構成要素の位置が与えられると、目標軌道に関連付けられてもよい (IM から軌道の変換)。そして、再び図 44 を参照すると、レジストレーションデータと計画情報との組合せを使用して、患者トラッカ 54、56 と、各目標軌道のような各計画された仮想オブジェクトとの間で、変換が計算される (PT-TTRAJ 変換)。

【0128】

ツール支持体 18 の位置及び／又は向き、及びそれゆえ TCP は、ツールトラッカ 52 に関連付けられてもよい (レジストレーション又は校正処理を介して計算される、ツール支持体からツールトラッカへの変換)。以上に説明されたように、いくつかの実施態様においては、手持ち部分 16 と TCP との間の変換 (BCS-TCP) は、各アクチュエータの位置に基づいて計算される。指令姿勢は、或る特定の制御の実施態様について BCS に対して決定され得るので、BCS と TCP との間の変換は、様々な座標系を手持ち部分 16 に関連付け戻すために利用される。概念的には、指令姿勢は、BCS から TCP への変換に対する更新であり、本例においては TCP が計画された仮想オブジェクト (目標軌道 TTRAJ) と位置合わせされることに帰着する。代替としては、手持ち部分 16 の姿勢は、いくつかの例においては、手持ち部分 16 に直接に結合された手持ち部分トラッカ 53 を使用することによって、直接に決定されてもよい。このことは、TCP 座標系を利用し、各アクチュエータの位置に基づいて BCS と TCP との間で変換を実行する必要性を除去し得る。

【0129】

ベース座標系 BCS に対する TCP の初期姿勢は、アクチュエータ 21、22、23 がそのホーム位置／中心点又はその他の所定の位置にあるときに、ツール支持体と手持ち部分 16 との間の既知の幾何学的関係に基づいて決定され得る。これに加えて及び／又は代替として、エンコーダを使用して初期姿勢を測定し、順運動学を計算して BCS に対する TCP の測定された姿勢を得て、当該姿勢を使用して仮想シミュレーションを初期化することによって、初期姿勢が仮想シミュレーションに「シード」されてもよい。この関係は、アクチュエータ 21、22、23 が調節されると変化し、関連する変化は、ロボットシステム 10 の運動学 (例えばこれらの座標系間の動的変換を確立する) に基づき決定され得る。かくして、ホーム位置におけるもののようなツール 20 の姿勢、及び手持ち部分 16 の姿勢に対するその関係は、ロボットシステム 10 に既知となる。したがって、ツール 20 がユーザによって動かされ、その姿勢がツールトラッカ 52 を使用して追跡されるとき、ロボットシステム 10 はまた、手持ち部分 16 の姿勢及びそのベース座標系 BCS を決定する。いくつかの例においては、事前の校正処理の結果として、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仮定される。アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれのホーム位置／中心点及び最大移動量が確立された後は、制御は、ナビゲーションコントローラ 36 からの位置及び／又は向きデータ、及びアクチュエータの測定された位置データに基づくものとなる。

10

20

30

40

50

【0130】

患者トラック54、56及びツールトラック52の両方が、ローカライザ座標系LC LZに関してローカライザ44によってそれぞれ報告され、LC LZからPT及びLC LZからTTを提供するため、これらの変換は、ツールトラック52と患者トラック54、56との間の変換(TTからPT)を決定するために一緒に処理されてもよい。そこから、ベース座標系から患者トラックへの(BCSからPT)変換が、制御システム60によって算出され、手持ち部分16に対する患者トラック54、56の位置を計算してもよい。患者トラック54、56に関する目標軌道TT RA Jは既知であるので、制御システム60は、ベース座標系BCSから目標軌道TT RA Jへの(BCSからTT RA J)変換を算出して、手持ち部分16の座標系における目標軌道の姿勢(BCS)に帰着してもよい。一例においては、BCSからTT RA Jは、TCPを目標軌道TT RA J上に置く指令姿勢のBCSからTCPを計算するために直接に使用されてもよく、このことは、ツール20を所望の姿勢に動かすためにアクチュエータ21、22、23に指令されてもよい。いくつかの例においては、BCSからTCPの算出は、仮想シミュレーションVM内でTCPをTT RA Jに引き寄せるための制約を生成するために使用され得る。

10

【0131】

器具コントローラ28は、少なくとも1自由度で目標状態に向けてツール20を調節するように、各アクチュエータ21、22、23に指令信号を送信することによって、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、各アクチュエータ21、22、23に指令信号を送り、アクチュエータ21、22、23を、位置の第1のセットから、ツール20を目標状態にすることとなる指令位置のセットへ移動させて、ツール20を目標軌道と位置合わせしてもよい。いくつかの例においては、指令位置は、手持ち部分16の姿勢と、仮想オブジェクトの姿勢(目標軌道)のような既知の座標系(すなわち患者トラック54、56に対して定義される)における目標状態とに基づいて、ナビゲーションシステム32と連携した器具コントローラ28によって決定され、指令位置に調節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。2021年9月8日に出願されたPCT出願であるPCT/US2021/49440号に記載されているような他の制御システム及び方法が企図される。

20

【0132】

(仮想制約)

30

いくつかの実施態様においては、制御システムは、1つ以上の仮想制約を使用して、指令姿勢を計算する。一般に、仮想制約は、仮想シミュレーションの一部として、他の動き関連情報とともに制御システム60によって考慮される、或る特定の方向における剛体の動きに対する制限及び／又は促進である。各仮想制約は、制約の方向と呼ばれる特定の方向に沿って作用すると考えられ得る。これらの一方向の制約は、例えば、仮想シミュレーションにおいて2つの座標系を互いに位置合わせする又は反発させるように動作し得る、多自由度制約を生成するように、組み合わせられてもよい。仮想制約は、或る特定の方向における動きを制限する又は動きを促進することの両方ができる。制約は、方向の意味(引き寄せる／反発する)で動きを「制限する」ものではなく、自由な(制約のない)動きを許容せずに、仮想シミュレーションにおける2つの追跡されるオブジェクト／座標系の相対的な動き又は姿勢に基づく或る特定の態様で、動きに影響を及ぼす。アクティブな仮想制約は全て制約ソルバ(constraint solver)へと追加され、制約ソルバは各仮想制約を説明するパラメータのセットを決定し、力を計算する。この結果の力は、それぞれが潜在的に別個の制約方向に沿って作用する、様々な仮想制約のバランス又は均衡を表す、6自由度の力／トルクベクトルとして表され得る。本教示において、「力」という用語が使用される場合、それは、線形力及び／又は回転トルクの成分が1以上の自由度で規定される、一般化された力／トルクベクトルを指し得ることは、留意されるべきである。例えば、「力」は、単一方向における単一の力、単一軸の周りの単一のトルク、又はそれらの任意の組合せ、例えば、x成分、y成分及びz成分からなる力並びにx軸、y軸及びz軸の周りのトルク成分からなるモーメントを定義する、所与の座標系における6自由度の力

40

50

／トルクベクトルを指してもよい。

【0133】

いくつかの例においては、各仮想制約は、等しい力を有さず、仮想制約によって作用される剛体の位置に依存して、仮想制約が柔軟となるように調節されてもよい。例えば、患者の解剖学的構造及び目標切断面又は目標軌道に対する器具14の位置に依存して、仮想制約は、仮想制約が柔軟となるように調節されてもよい。仮想制約は、無限に剛直なものではなく、代わりに、仮想制約のそれぞれは、例えば仮想制約にばね及び減衰パラメータを組み込むことによって、仮想制約の硬直性を調節するための調整パラメータを有する。かかるパラメータは、制約力混合パラメータ（C）及び誤差低減パラメータ（ ε ）を含んでもよい。そして、仮想力は、仮想シミュレーションにおける仮想剛体（ツール20又は刃支持体18を表す）に適用されてもよい。6自由度の順動力学計算が実行されて、その結果の仮想剛体の動きを決定する。シミュレーションは時間ステップで行われ、その結果が指令姿勢として利用される。

10

【0134】

調整パラメータの値は、向き制約についてよりも位置制約についての方が大きく（例えば、より硬直したもの）してもよいし、又はその逆でもよい。かくして、仮想制約の計算は、手持ち部分に対して動くツール支持体の動きパラメータの直接的な制御に導く。調整パラメータは、例えば、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「Systems and Methods For Guiding Movement Of A Tool」と題されたPCT出願であるPCT/US2020/053548号に記載されたように決定されてもよい。

20

【0135】

仮想制約の状態は、器具の動作の間に制御されてもよい。例えば、仮想制約の状態は、第1の状態と第2の状態と（例えばツールの現在の状態と目標状態と）の間の関係に基づいて変化してもよい。例えば、状態が使用の間に変化するように、ツールの位置と基準位置の位置との間の距離パラメータの関数として、状態が構成されてもよい。別の例においては、状態が使用の間に変化するように、ツールの位置と基準位置の位置との間の角度パラメータの関数として、状態が構成されてもよい。各仮想制約の状態は、アクティブ状態、非アクティブ状態、調整パラメータのための第1の値を含むもの、及び／又は調整パラメータのための第2の値を含むものであってもよい。いくつかの例においては、状態の値は、ルックアップテーブルによって定義されてもよい。かくして、或る特定の制約は、ツールの状態に基づいて、アクティブに及び／又は非アクティブにされてもよい。

30

【0136】

ツールが鋸刃である例においては、複数の切断面についての鋸刃の目標状態に対する鋸刃の状態は、鋸刃の現在の向きと鋸刃の複数の目標向きとの間の角度を決定すること、鋸刃の現在の位置と鋸刃の複数の目標位置との間の距離を決定すること、又は該角度及び該距離の両方を決定することを含んでもよい。鋸刃の目標状態に対する鋸刃の現在の状態を決定することは、既知の座標系における複数の切断面に対する鋸刃によって定義される面の位置を決定することを含んでもよい。かくして、鋸刃が特定の目標切断面に隣接して位置決めされた場合に、1つ以上の仮想制約の状態が変更されてもよく、制御システムは、選択された切断面を反映するよう目標姿勢を更新するように更に更新されてもよい。同様の技術は、回転式切断ツールが1つ以上の目標軌道と位置合わせするように使用される場合に、器具を制御するために実装されてもよい。

40

【0137】

仮想制約は、ユーザ入力デバイスが用いられたとき、又はロボットシステム10が仮想制約を自動的にアクティブにするときに、アクティブにされてもよい。これに加えて又は代替として、ユーザは、仮想制約を手動で設定すること（例えばユーザインタフェースUIのうちの1つ以上を介して、仮想制約の1つ以上のパラメータを変更する、仮想制約をアクティブにする／非アクティブにする等）が可能であってもよい。ユーザは、この目的のために、臨床アプリケーション190を利用してもよい。仮想制約はまた、或る特定の

50

外科的ステップが実行されている（例えば組織の所望のセクションを切断する等）とき、又はロボットシステム 10 が或る特定の条件を検出するか若しくはその他の態様で認識するときに、トリガされてもよい。

【0138】

一例においては、図 10 を参照すると、仮想制約の状態は、ツールが計画された切断又は手術部位に対してどの領域に位置しているかに依存して、変更されてもよい。これらの領域は、1 つ以上の既知の座標系における仮想オブジェクト 184（図示された球状のオブジェクトを参照）により、定義されてもよい。

【0139】

仮想制約の状態を変更する 1 つの例においては、ばね及び減衰パラメータが、動作の間に調整されてもよい。いくつかのバージョンにおいては、調整パラメータのための値は、ツールの現在の状態と目標状態との間の関係に基づいて、変化してもよい。例えば、調整パラメータは、ツール 20 が目標状態に近づくほど硬直性が増大するように構成されてもよいし、又は、調整パラメータは、ツール 20 が目標状態に近づくにつれて硬直性が低下するように構成されてもよい。調整パラメータは、異なる制約に対して異なるものであってもよい。例えば、仮想制約は、調整パラメータのための第 1 の値を有する第 1 の仮想制約と、調整パラメータのための第 2 の値を有する第 2 の仮想制約とを含んでもよく、第 1 の値は、第 2 の値より大きく、それにより、その結果の制約力 F_c において具現化される仮想力及び／又はトルクが、第 2 の仮想制約と比較して第 1 の仮想制約の結果としてより強くツールを動かすように適合される。調整パラメータの値は、姿勢制約についてよりも位置制約についての方が大きくても（例えばより硬直したもの）よく、又はその逆であってもよい。

【0140】

調整パラメータはまた、ツールの現在の状態からツールの目標状態までの距離／角度に関係なく一定のままとなるように、距離とともに指数関数的に上昇／下降するように；現在の状態と目標状態との間の距離とともに線形に変化するように；制約方向とともに変化するように；時間の関数として変化するように；重力効果を考慮するように；又はこれらの組合せとなるように、設定されてもよい。図 18～図 20 を参照すると、1 自由度に関連する 1 つの制約についての調整パラメータは、別の自由度に関連する関係に基づいて設定されてもよく、例えば、y 軸制約の硬直性は、現在の状態と目標状態との間の x 軸に沿った距離に基づいて、変化してもよい。調整パラメータはまた、ツール 20 が目標状態に到達するために動く必要がある方向に依存して変化してもよく、例えば、x 軸に沿った一方向に動く場合に、x 軸に沿った反対方向に沿って動く場合よりも、硬直性が高くなる。調整パラメータはまた、制約力 F_c の大きさ、又はその任意の成分に依存して、硬直性を増大／低下させることによってのようにより、仮想制約に基づいて最終的に計算される制約力 F_c に依存してスケールされてもよい。1 つ以上の仮想力のための固定値もまた、いくつかの場合においては、仮想シミュレーションに追加され得る。仮想制約についての調整パラメータは、術前に設定されるもの、術中に設定されるもの、術中に更新されるもの、及びそれらの組合せであってもよい。調整パラメータ及びその値、特定の関係に対するそれらの相関、並びにそれらがスケールされ得る態様は、後の検索のために制御システム 60 内の任意の適切なメモリ内の 1 つ以上のルックアップテーブルに記憶されてもよい。

【0141】

時間及び距離の関数として 1 つ以上の制約の 1 つ以上の調整パラメータの硬直性を変更することは、1 つ以上の事象に応答して有利なアクチュエータ挙動を提供し得る。例えば、トラックへの視線が一時的に遮断された場合、トラックがカメラの視線に戻ったときに、硬直性をゆっくりと増大させることによって、ユーザにとって気を散らすものであり得るユーザの手における突然で激しいアクチュエータの動きを、最小化することができる。その代わり、器具のトラックが視線に戻ったときに、硬直性がゆっくりと増大させられてもよい。時間及び距離の関数に基づく調整パラメータのこの制御は、以下に説明されるよ

うに、手持ち式器具が異なる制御領域間を遷移するときにも有用であり得る。以上に説明されたように、1つ以上の仮想制約は、自動的にアクティブにされてもよい。これに加えて又は代替として、ユーザは、仮想制約を手動で設定すること（例えばユーザインタフェースUIのうちの1つ以上を介して、仮想制約の1つ以上のパラメータを変更する、仮想制約をアクティブにする／非アクティブにする等）が可能であってもよい。ユーザは、この目的のために、臨床アプリケーション190を利用してよい。仮想制約はまた、或る特定の外科的ステップが実行されている（例えば組織の所望のセクションを切断する等）とき、又はロボットシステム10が或る特定の条件を検出するか若しくはその他の方法で認識するときに、トリガされてもよい。

【0142】

各仮想制約はまた、構成設定を有する。構成設定は、制約力混合パラメータ（C）及び誤差低減パラメータ（ ε ）のような調整パラメータに関する情報、力の上限及び／又は下限、及び／又は上側及び下側の制約距離オフセットを含んでもよい。力の上限及び下限は、以下に更に説明されるように、制約力 F_c を生成するために制約ソルバ189によって最終的に解かれる、各仮想制約について計算される力の限界を指す。仮想制約は、二面的な制約（例えば制約を満たすために計算される力は正であっても負であってもよい）であってもよく、（各自由度において）ガイドされた座標系GFが目標座標系TFのどちらの側に位置しているかにかかわらず、どちらの方向の引力を適用してもよい。力の限界は、正及び負の方向において高く設定されてもよいし（例えば $-100000/+100000$ ニュートン）、任意の所望の限界に設定されてもよい。代替として、仮想制約は、一面的な制約であってもよい（例えば制約を満たすために計算される力は、一方向にのみ作用し得るものであり、すなわち、力の限界によって構成される方向に依存して、正又は負のいずれかにのみなり得る）。さらに、制約は、制約基準を満たす方向に力を加える「引き寄せ」、又は制約基準を満たすことから離れる方向に力を加える「反発」になるように構成され得る。上側及び下側の制約距離オフセットは、いつ制約がアクティブとなるかを決定付ける。仮想制約に関して、上側及び下側の制約距離オフセットは、現在の状態が目標状態と異なるときはいつでも、制約がアクティブになるように設定されてもよい。

【0143】

制御システムが、仮想制約の1つ以上に関連するより高い力を受ける場合、該より高い力は、シミュレーションにおいて仮想制約によって影響を受ける剛体に対する、より高い加速率に導き得る。ツールの指令姿勢としての仮想シミュレーションの出力は、それに応じてアクチュエータ21、22、23に指令し、仮想シミュレーションで見て、より高い力及びより高い加速度を引き起こし、手持ち部分16に対するツール支持体18のより高い加速度に帰着する。該より高い力は、その特定の制約について計算された値、調整パラメータの値、又はこれらの組合せに基づくものであってもよい。例えば、仮想制約は、調整パラメータのための第1の値を有する第1の仮想制約と、調整パラメータのための第2の値を有する第2の仮想制約とを含んでもよく、第1の値は、第2の値よりも大きく、それにより、その結果の制約力 F_c において具現化される仮想力及び／又はトルクが、第2の仮想制約と比較して第1の仮想制約の結果としてより強くツールを動かすように適合される。

【0144】

図11及び図17A～図17Eは、1つ以上の仮想制約を使用して指令姿勢の計算を実行するために実施される処理の制御図である。図11は、簡略化された制御図であり、図17A～図17Eは、より詳細なものである。これらのバージョンにおいては、挙動コントローラ186は、制約生成器384と接続されてもよい。制約生成器384は、挙動コントローラ186に境界制約を送信する境界ハンドラ389と、挙動コントローラ186にガイド制約を送信するガイドハンドラ385とを含んでもよい。挙動コントローラ186は、制約ソルバ189及び仮想シミュレータ388を含んでもよい。動き制約ハンドラ390は、関節センタリング制約、運動学的動き制約、作業空間制約、及び関節限界制約を、挙動コントローラ186に送信して、制約ソルバ386及び仮想シミュレータ388

に追加されるようにする。いくつかの例においては、動き制約ハンドラ 390 は、動きコントローラ 188 の一部である。（図 11 では「sim」として、図 17A～図 17E では仮想順動力学として示される）仮想シミュレータは、制約力、並びに減衰力、慣性力及び外部の感知された力を含む潜在的に追加的な力に基づいて、ツール 20 上の仮想動力学をシミュレートしてもよい。制約生成器 384、制約ソルバ 189、及び仮想シミュレータ 388 はそれぞれ、前述のコントローラのうちのいずれか 1 つ以上の非一時的なメモリに記憶され、制御システム 60 によって実装される、実行可能なソフトウェアを含む。制約力は、以下に説明されるように、力及びトルク（数ある入力の中でも）が仮想剛体の動きにどのように影響するかを最終的に決定するために、仮想シミュレーションにおいて仮想剛体にそれらの力及びトルクが仮想的に加えられるように、ツール 20 の仮想剛体モデルに対して仮想シミュレーションが実行される、仮想質量座標系 VM に加えられ得る。仮想シミュレーションにおいて仮想剛体に加えられる仮想力及びトルクは、ツール 20 を目標状態に向けて動かすように適合される。仮想力及びトルクは、仮想オブジェクト、すなわち目標状態に向けた、ツール 20 の全体的な動きに影響を与える。

10

20

30

40

50

【0145】

一例においては、図 11 に示されるように、挙動コントローラ 186 は、仮想シミュレーションへの外力センサ入力を利用しない。仮想制約に基づく制御の使用は、外部の力センサがない場合であっても、いくつかの有利な結果を提供する。仮想シミュレーションにおける制約システム及び仮想力のモデル化は、異なる結果に結び付けられた制約を容易に融合させることを可能にする。制約システムはまた、各制約についてのパラメータを直感的な方法で調整することを可能とする。さらに、速度制約の使用は、他の数値積分又はシミュレーション方法よりも改善された数値安定性のため、所与のサンプルレートに対して、より高い応答性（例えばより高い硬直性）を提供する。しかしながら、記載されているように、外力センサの使用、又は外力の電流ベースの推定のような外力の他の近似が、本明細書に説明されるシステム及び方法とともに使用されてもよい。

【0146】

（ガイド制約）

仮想制約の 1 つのタイプは、本明細書においてガイド制約と呼ばれる。ガイド制約は、目標状態に向けたツール 20 の動きに最終的に影響を与えるように定義される。ガイド制約は、以下に更に説明されるように、ガイド制約が無限に硬直したものとならないように、設定可能なばね特性及び減衰特性を有する。より具体的には、いくつかのバージョンにおいては、ガイド制約は、目標状態に対して反対方向に他の制約によって加えられる力及びトルクに起因する動きのような、制約に違反する動きを完全には防止しないように、「ソフトな制約」として定義される。

【0147】

目標位置に関連する最大 3 つのガイド制約、及び目標向きに関連する最大 3 つのガイド制約を含む、1 つ以上のガイド制約が、ツール支持体 18 をガイドするために制御システム 60 によって使用され得る。以下により詳細に説明されるように、制御システム 60 は、ガイド制約（及び使用される場合には他の仮想制約）を満たしている又は満たそうとする制約力 F_c を算出するように動作する。制約力 F_c は、ツール 20 を目標状態に動かすために、仮想力及びトルクをその中に組み込んでいる。ガイド制約のそれぞれは、1 次元の仮想制約と考えられる。制御システムは、ガイドされるフレームを目標フレームに位置合わせするために、複数の 1 自由度の制約を利用してもよい。前述のように、ガイド制約は、（各自由度において）ガイドされた座標系 GF が目標座標系 TF のどちらの側に位置しているかにかかわらず、どちらの方向にも引力を加えることができるという点で、「二面的な」制約である。いくつかのバージョンにおいては、ガイド制約は、所望の制約パラメータに従ってオブジェクトの速度の変化を引き起こすように、仮想シミュレーションにおけるオブジェクトに仮想インパルスを適用するよう力及び／又はトルクが算出される、速度インパルス制約である。いくつかのバージョンにおいては、これらの制約は、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 9, 119, 655 号に記載さ

れたインパルスモデル化において使用されるものと同様のものである。

【0148】

図12において、少なくとも1自由度における目標姿勢に関連するガイド制約GCが、目標座標系TFにおいて定義されるものとして例示的に表されている。これらのガイド制約GC（及びその他のアクティブな仮想制約）の結果として最終的に算出される制約力Fcは、ツール20のTCPを目標姿勢にガイドする、仮想ばね及び減衰特性を組み込んだ力を含むものとして示されている。ガイド制約は、ガイドされた座標系GFの姿勢（例えば仮想質量座標系VMに関して定義される）及び目標座標系TFの姿勢（例えば患者トラッカに関して定義される）に基づくものであってもよい。ガイドされた座標系GF及び目標座標系TFの（少なくとも1自由度における）姿勢は、それぞれ鋸刃の現在の状態及び鋸刃の目標状態、又はそれぞれツールの現在の状態及びツールの目標状態を計算するために使用される。

10

【0149】

各ガイド制約は、目標座標系のx軸、y軸又はz軸に沿って又はこれらの軸の周りに定義される制約方向を有する。制約方向は、制約が有効に力を加えることができる方向である。回転制約の場合については、制約方向は、制約がその周りに効果的にトルクを加えることができる軸である。制約方向は、ガイドされた座標系（GF）において定義されてもよいし、又は、制約方向は、目標座標系（TF）又はガイドされた座標系（GF）のいずれかに対する任意の既知の関係をを用いて定義されてもよい。一例においては、3つの並進ガイド制約及び3つの回転制約が、ガイドされるフレームの位置及び向きを目標フレームと完全に位置合わせするために使用され得る。しかしながら、2つ以下の並進制約が使用されてもよく、2つ以下の回転制約が使用されてもよい。

20

【0150】

一例においては、ガイド制約は、1つの位置及び2つの向きの、3自由度で算出される。位置ガイド制約は仰角で定義され、向き制約はピッチ及びロールで定義され、これらは鋸刃を目標平面TPに位置合わせするために使用される。向きは、目標姿勢（TF）の向きと鋸刃上のガイドされるフレームとを比較することによって計算される。ロール（X軸の周りの回転）及びピッチ（Y軸の周りの回転）は、鋸刃のX-Y平面（ガイドされた座標系）が目標姿勢のX-Y平面（目標座標系）と平行になるまで、鋸刃がどれだけ回転させられる必要があるかを定義するために使用される。本例については、3つの制約方向は、TFのz軸に沿ったもの（仰角）、TFのx軸の周りのもの（ロール）、及びTFのy軸の周りのもの（ピッチ）となる。他の仮想オブジェクトについての別の例においては、2つの位置ガイド制約及び2つの向きガイド制約が使用されてもよい。

30

【0151】

代替としては、鋸刃又はその他のツールを目標姿勢に位置合わせするために、ガイドされた座標系において任意の数の自由度が使用され得る。例えば、1自由度の位置（平面上の点）、以上に説明されたような3自由度の位置及び向き、4自由度の位置及び向き、又は、3つの位置及び3つの向きを位置合わせするガイド制約を含むこととなる、完全な6自由度の姿勢である。

【0152】

ガイド制約（及び使用される場合は他の仮想制約）は、主に以下の3つのランタイムパラメータ、すなわち、各1次元のガイド制約を仮想シミュレーションのために利用される座標系にマッピングする（例えば目標座標系TFと仮想質量座標系VMとの間）制約ヤコビアンJpと、目標座標系TFによって定義される適用可能な制約方向に沿った又はその周りの、ガイド制約のスカラー速度（線形又は角度的な）（例えば、所望の速度は、患者が動けずかつ患者に対して定義された関連する目標状態が動いていないときは、ゼロであってもよいが、目標状態が患者に結び付けられ得るので、患者が動いているときは、ゼロ以外であってもよい）所望の速度Vdes（又はVp2）と、ガイドされるフレームGFが、TFによって定義された適用可能な制約方向に沿って又はその周りに、目標フレームTFにどれだけ近いかであり、制約が違反されているか否かを決定付ける制約距離Δdとに

40

50

によって定義される。いくつかの場合においては、 Δd は、目標状態からの現在の状態の距離／角度を指し、ガイド制約は、関連する自由度について現在の状態が目標状態と一致しないときはいつでも違反される。

【0153】

ガイド制約以外の他の制約が利用される場合、制約ソルバは、最終的に、全ての仮想制約を満たしている又は満たそうとする制約力 F_c についての解を提供することをタスクとするものであり、かくして、その他の制約は、制約力の大きさ及び／又は方向に影響を与え得ることは、理解されるべきである。

【0154】

(関節センタリング制約)

関節センタリング制約は、複数のアクチュエータの各アクチュエータのセンタリング位置に対する、ツール支持体 18 の動きに影響を与えるために仮想シミュレーションにおいて利用される、仮想力及び／又はトルクを表す、別の仮想制約である。関節センタリング制約は、手持ち部分 16 に対して利用可能なツール支持体 18 の移動量を最大化するために制御システム 60 によって考慮される、手持ち部分に対するツール支持体 18 の動きにおける特定の制限を実装する際に使用される。一例においては、ツール 20 に対する動きの特定の制限は、他の制約がアクティブでないときに、関節をその中心位置（又は、ユーザ、制御システム 60、若しくはその両方によって決定される、別の関節位置）に戻すことであってもよい。代替としては、関節センタリング制約は、全膝処置における特定の切断のためのも、又は或る特定の骨穿孔処置における特定の軌道のためのものような、特定の外科的処置のための最適なバランスのために、手持ち部分 16 に対するツール支持体 18 の位置決めを容易化してもよい。関節センタリング制約は、以下に更に説明されるように、関節センタリング制約が無限に硬直したものとならないように、設定可能なばね及び減衰特性を有していてもよい。より具体的には、いくつかのバージョンにおいては、関節センタリング制約は、他の制約によって反対方向に加えられる力及びトルクに起因する動きのような、制約に違反する運動を関節センタリング制約が完全に防止しないように、「ソフトな制約」として定義される。

【0155】

関節センタリング制約は、ツール支持体 18 を動かすために制御システム 60 によって使用されてもよい。以下により詳細に説明されるように、制御システム 60 は、関節センタリング制約を満たしている又は満たそうとする制約力 F_c を算出するように動作してもよい。制約力 F_c は、ツール支持体 18 をセンタリング位置に向けて動かすために、仮想力及びトルクをその中に組み込んでいる。関節センタリング制約は、1次元の仮想制約と考えられる。いくつかのバージョンにおいては、関節センタリング制約は、所望の制約パラメータに従ってオブジェクトの速度の変化を引き起こすように、仮想シミュレーションにおけるオブジェクトに仮想インパルスを適用するよう力及び／又はトルクが算出される、速度インパルス制約である。関節センタリング制約以外の他の制約が利用される場合、制約ソルバは、最終的に、全ての仮想制約を満たしている又は満たそうとする制約力 F_c についての解を提供することをタスクとするものであり、かくして、その他の制約は、制約力の大きさ及び／又は方向に影響を与え得ることは、理解されるべきである。

【0156】

図 21 において、関節センタリング制約は、それぞれのアクチュエータの関節空間において（アクチュエータ 21、22、23 の並進軸に沿って）、例示的に表されている。関節センタリング制約の制約方向は、そのアクチュエータ 21、22、23 の並進軸に沿ったものであり、それゆえ、その方向に沿った線形力のみを加え得る。各関節センタリング制約の結果として算出される制約力は、アクチュエータ位置をセンタリング位置にガイドする対応するアクチュエータの並進軸に沿って作用する、ばね及び減衰特性を組み込んだ線形力を含むものとして図示されている。関節センタリング制約は、他の座標系でも同様に定義され得ることは、理解されるべきである。また、器具内の全てのアクチュエータ又は全てよりも少ないアクチュエータが、関節センタリング制約を利用してもよいことは、

理解されるべきである。

【0157】

関節センタリング制約は、主に3つのランタイムパラメータ、すなわち、1次元関節センタリング制約を仮想シミュレーションのために利用される座標系にマッピングする（例えば関節の動きと仮想質量座標系VMとの間）、制約ヤコビアンJpと、以前の制御の反復において各アクチュエータを制御するために使用された指令位置である、以前の指令関節位置と、他の制約がアクティブではないときにアクチュエータが戻ることが望ましい設定された関節位置である、関節センタリング位置とにより定義される。アクチュエータの現在の測定された位置もまた、関節センタリング制約に使用され得ることは、理解されるべきである。以前の指令位置は、制御におけるより少ない遅れ及び改善された安定性を提供し得る。関節センタリング制約は、二面的なものであってもよく、アクティブなときに常に関節をセンタリング位置へ引っ張る。

10

【0158】

関節センタリング位置は、ロータ148のそれぞれがそれぞれのリードスクリュウに沿って比較的大きな移動量を有する位置であってもよい。言い換えれば、関節センタリング位置は、以上に説明されたように、アクチュエータのそれぞれの「ホーム」又は「アイドル」位置と考えられ得る。各アクチュエータについて、関節センタリング位置を、リードスクリュウに沿ったロータの中央位置であるホーム位置に設定することによって、ツール支持体は、最大可動域を達成することができる。代替としては、関節センタリング位置は、複数のアクチュエータのうちの1つ以上について、ホーム位置以外の位置に設定されてもよい。この位置は、二次的な関節センタリング位置と考えられ得る。二次的な関節センタリング位置は、アクチュエータ21、22、23のそれぞれについて異なってもよい。アクチュエータが二次的な関節センタリング位置に位置しているとき、1つ以上のアクチュエータ21、22、23は、関節センタリング位置がホーム位置であったとした場合と同じアクチュエータが有していたであろう一方向への移動の、一部しか可能ではないかもしれないことは、理解されるべきである。一例においては、第1の関節センタリング位置は、「ホーム位置」であり、第2の関節センタリング位置は、ホーム位置以外の位置である。特に限定するものではないが、アクチュエータが第2の関節センタリング位置にあるとき、アクチュエータは、ホームと同等の関節センタリング位置に設定された場合にその同じアクチュエータが有していたであろう特定の方向における可動域の50パーセント未満、40パーセント未満、又は30パーセント未満を有していてもよい。しかしながら、或る特定の外科的処置について又は或る特定のユーザについては、或る特定の（潜在的に困難な）方向により多くの移動を提供するために、人間工学を改善するために、又は器具がどのように保持されるかを考慮するために、アクチュエータの中央位置から離れた関節センタリング位置を付勢することが有用であり得る。各アクチュエータは、多数の異なる関節センタリング位置、又は好ましいバランス配置のためのプリセットを有してもよいことは、理解されるべきである。好ましいグリップ／バランス状況に対応する関節センタリング位置の群（全てのアクチュエータについての関節センタリング位置のセット）が、一緒に集約されてもよい。これらのセンタリング位置は、1つ以上のユーザ入力デバイスを使用してユーザにより選択可能であってもよい。

20

30

40

【0159】

各アクチュエータ21、22、23が、第1の関節センタリング位置（ホーム位置）にある場合、アクチュエータ21、22、23の調節可能量は、典型的には対称的に最大化されて、ユーザがツール20を所望の姿勢に保つことを容易にし、すなわち、関節センタリング位置は、典型的にはアクチュエータの中央位置又は「ホーム」位置に設定される。器具14の特定の幾何学的形状及び構成に依存して、様々なレベルの調節が可能である。いくつかの例においては、全てのアクチュエータ21、22、23がそれらの第1の関節センタリング位置にあるとき、ツール20は、ロールの向きにおけるゼロ変化、及びz軸の並進がないことを仮定して、関節中心位置に対して約±18度だけ、ピッチの向きを調節されてもよい。いくつかの例においては、全てのアクチュエータ21、22、23がそ

50

これらのセンタリング位置にあるとき、ツール 20 は、ピッチの向きにおけるゼロ変化、及び z 軸の並進がないことを仮定して、センタリング位置に対して約 ± 33 度だけ、ロールの向きを調節されてもよい。いくつかの例においては、全てのアクチュエータ 21、22、23 がそれらの第 1 の関節のセンタリング位置にあるとき、ツール 20 は、ピッチの向き及びロールの向きにおけるゼロ変化を仮定して、第 1 の関節センタリング位置に対して約 9.398 mm (約 ± 0.37 インチ) だけ、z 軸の並進を調節されてもよい。ツール 20 は、もちろん、動作の間に、ピッチ、ロール、及び z 軸の並進を同時に、順次に、又はそれらの組合せで、調節されてもよい。

【0160】

関節センタリング制約は、1 つ以上のアクチュエータの位置において、1 つ以上のアクチュエータをフリーハンド／非ガイドモードへと「凍結」させて、不必要な作動及び動きを防止し、器具 14 が目標骨からかなりの距離離れている場合のような、アクチュエータが動きにより過剰な熱を生成することを防止するために、使用されてもよい。フリーハンド／非ガイドモードは、膝蓋骨又はその他の解剖学的構造の部分を切断するような、いくつかのタイプの処置を実行するために有用であり得る。アクチュエータ 21、22、23 が、フリーハンド／非ガイドモードにおいて更なる動きを凍結されると、器具 14 は、手持ち部分 16 に対するツール支持体 18 のいかなる動きもなく、従来の切断器具とよく似た挙動を行う。仮想境界 184 はまた、非ガイドモードで非アクティブにされてもよい。フリーハンド／非ガイドモードには、任意の適切なユーザインタフェースの任意の適切な入力デバイス（例えば押しボタン、フットスイッチ等）によって入ってもよい。いくつかのバージョンにおいては、ユーザは、入力デバイスを作動させ、器具コントローラ 28 がツール姿勢を適所で保持されるよう又は凍結されるよう指令する、フリーハンド／非ガイドモードを選択することによって、このツールの挙動（すなわち、特定の関節センタリング位置による関節センタリング制約をアクティブにする、及び／又は関節センタリング位置を変更する）を選択してもよい。いくつかの例においては、ツール 20 を特定の姿勢で凍結するために、器具コントローラ 28 は、関節センタリング制約を有効にして、各アクチュエータ 21、22、23 についてのセンタリング位置を、所望のツール姿勢に対応する関節位置に設定してもよい（例えば、対応する関節位置を得るために所望のツール姿勢に対して逆運動学を実行することにより）。代替として、別の例においては、関節センタリング位置は、ゼロ（すなわちホーム位置）のままとされるか、又はゼロにリセットされてもよい。さらに、関節センタリング位置は、ユーザによってモードが要求された時点で、エンコーダ又はその他のアクチュエータ位置のフィードバックを使用して決定された、アクチュエータの現在の位置に設定されてもよい。以上に説明されたように、関節センタリング位置は調節可能である。二次的な関節センタリング位置は、ユーザ入力デバイスを使用して設定されてもよいし、又は自動的に設定されてもよい。

【0161】

器具コントローラ 28 は、関節センタリング制約の状態又は挙動を自動的に制御してもよい。例えば、関節センタリング制約の状態は、ツールの状態及び目標状態に基づいて制御されてもよい。代替としては、関節センタリング制約の状態は、ツール 20 の位置と、既知の座標系における骨に関連する基準位置の位置とに基づいて制御されてもよい。関節センタリング制約の状態は、複数のアクチュエータ 21、22、23 のそれぞれに対する関節センタリング位置の値、及び／又は関節センタリング制約の調整パラメータを含み得る。例えば、器具コントローラ 28 は、ユーザが、快適なグリップの維持、制御、利便性、解剖学的構造を熟知していること、予期されない解剖学的構造、又はそれらの組合せのために、ツール 20 に対する手持ち部分 16 について、同じグリップにより手順を再開し得るように、ナビゲーションシステム 32 によって決定された、ツール 20 の状態及び骨に関する基準位置に基づいて、ツール 20 が切り口から取り外されたときに、アクチュエータのそれぞれに対して特定の関節センタリング位置による関節センタリング位置制約を、自動的に有効にしてもよい。かかる例においては、関節センタリング位置は、切り口からの鋸刃 380 の取外しの前の時点において測定された、各アクチュエータ 21、22、

23の位置に設定される。

【0162】

また、関節センタリング位置は、関節センタリング制約の観点から説明されたが、以上に説明された関節センタリング位置制御は、アクチュエータの位置制御システムを用いる場合のように、仮想制約の使用なしに利用されてもよいことは、理解されるべきである。かかる実施態様においては、制御システムは単に、設定された関節センタリング位置に各アクチュエータの位置を制御してもよい。制約ソルバを実装することなく、関節センタリング挙動が利用される場合には、関節センタリング制約と同じ態様で、関節センタリング動作の状態が制御されてもよい。

【0163】

器具コントローラ28は、ツール20の位置と骨に関連する基準位置の位置との間で算出された距離パラメータ（例えば距離；大きさ）に基づいて、関節センタリング制約の状態を制御するように構成されてもよい。距離パラメータは、方向、大きさ、又はその両方であってもよい。いくつかの場合においては、距離パラメータが、骨から離れる方向、及び15cmのような第1の閾値よりも大きい大きさを有する場合に、コントローラが、異なる状態に切り換わってもよい。

【0164】

以上に説明されたように、関節センタリング位置は調節可能である。二次的な関節センタリング位置は、ユーザ入力デバイスを使用して設定されてもよく、又は自動的に設定されてもよい。或る特定の構成においては、二次的な関節センタリング位置及び関節センタリング制約のアクティブ化は、既知の座標系における複数の切断面に対する鋸刃によって定義される面の状態に基づいてもよいし、又は複数の計画された軌道に対するツールによって定義される軸の状態に基づいてもよい。

【0165】

より詳細には、関節センタリング制約の二次的な関節位置及びアクティブ化は、鋸刃の現在の向きと鋸刃の複数の目標向きとの間の角度、鋸刃の現在の位置と鋸刃の複数の目標位置との間の距離、又はこれら角度及び距離の両方に基づいてもよく、角度の値、距離の値、又は角度の値及び距離の値の両方に基づいて、ユーザによって選択された複数の切断面のうちの1つを決定する。かくして、アクチュエータのそれぞれについての特定の二次的なセンタリング位置は、使い勝手を改善させる目的のため、手持ち部分に対するツール支持体の姿勢を最適化するように選択されてもよい。同様の実施態様が、他のタイプの外科用ツールについての軌道のために使用され得る。

【0166】

図23A～図23Cを参照しながら、関節センタリング挙動を制御する一例が、以下に説明される。本例においては、領域IV及びVと骨にすぐ隣接する領域とを区別するために、仮想境界又は距離パラメータが使用され得る。本例においては、まず図23A及び図23Bを参照すると、制御システムは、ツールが第1の領域（領域IV）から第2の領域（領域V）へと動くときに、関節センタリング位置として後に使用され得る現在の関節位置を、自動的に保存するように構成されている。図23Aに見られるように、ツールは切断面上にあり、ガイド制約がツール20を切断面に能動的に位置合わせしている。制御システム60は、ツール20が領域IVから領域Vへと動くときに、現在の関節位置を分析し、関節位置の「スナップショット」をとり、ガイド制約をオフにし、ツール20がその以前に構成された関節センタリング制約を介してセンタリングされた位置に戻ることを可能にする（図23B）。領域Vから領域IVに戻るときに、関節センタリング制約は、「スナップショット」での値に再設定され（例えば位置合わせを復元する）、ツールが出口位置に位置合わせされるようにする（図23C）。ガイド制約は、ツール20が骨の入口にすぐ隣接する領域によって定義されるゾーン内に入るまで、有効化されなくてもよい。復元された関節位置は、以前に切り口から出たときに捕捉された、ハンドルについての人間工学的開始位置にユーザを再位置合わせするために、実装されてもよい。ガイド制約は、刃の姿勢（刃のVMのような）が骨に近いとき（刃のVMから基準座標系／基準位置ま

10

20

30

40

50

での閾値距離を考慮する)に、再びアクティブにされてもよい。

【0167】

関節センタリング制約は、ガイド制約、関節限界制約又は作業空間制約と同時にアクティブになり得ることは、理解されるべきである。かかる状況においては、制約ソルバは、アクチュエータがどのように制御されるべきかを計算するとき、例えば、指令姿勢を計算するとき、仮想制約のそれぞれから及ぼされる力を均衡させようとする。かくして、或る特定の例においては、特定の関節センタリング位置による関節センタリング制約のアクティブ化にもかかわらず、アクチュエータは、実際にはその関節センタリング位置に制御されないこととなり得る。このことは、他の制約が、より高い優先度を有し得るためである。様々な制約の優先順位は、硬直性又は減衰のような、様々な調整パラメータの使用を通して調節されてもよい。もちろん、異なる仮想制約が同時にアクティブとなる必要はないことも企図される。

10

【0168】

一例においては、仮想ガイド制約は、TCPが領域IIから領域Iに遷移するときアクティブにされてもよい。仮想関節センタリング制約は、TCPが領域IIIから領域Iに遷移するときアクティブにされてもよい。同様に、関節センタリング制約は、TCPが領域IIから領域Iに遷移するとき非アクティブにされてもよい。もちろん、任意の数の領域が、任意の特定の形状を有して定義されてもよい。仮想関節限界制約は、3つの領域の全てにおいてアクティブであってもよいことが企図される。全文を通して述べられるように、これらの領域は、様々な形状の仮想オブジェクトとして、又は基準位置に対する距離パラメータとして、定義されてもよい。

20

【0169】

いくつかの例においては、制御システム60は、器具14の姿勢、刃支持体若しくはツール支持体の姿勢、手持ち部分の姿勢、アクチュエータのうちの少なくとも1つの指令関節位置、少なくとも1つのアクチュエータ21、22、23の測定された位置、少なくとも1つのアクチュエータ21、22、23の以前の指令位置、少なくとも1つのアクチュエータ21、22、23の以前の測定された位置、又はこれらの組合せに基づく調整パラメータを用いて、仮想力のそれぞれ(仮想制約)を変更する。いくつかの例においては、制御システム60は、鋸刃380又はツールの目標姿勢と、手持ち部分16の測定された姿勢とに基づいて、ガイド制約を生成する。制御システム60はまた、少なくとも1つのアクチュエータ21、22、23のセンタリング位置と、アクチュエータ21、22、23のうちの少なくとも1つの位置に基づく関節センタリング制約とを生成する。制御システム60は、制約力に基づいて仮想鋸刃又はツールの動力学を仮想シミュレートすることにより、ガイド制約力及び関節センタリング制約力に基づいて制約力を算出する。いくつかの例においては、制御システム60はまた、刃支持体若しくはツール支持体、手持ち部分、又は刃/ツール支持体と手持ち部分との間のような、器具14に加えられる外力を決定し、算出において外力を使用して制約力を決定し、仮想シミュレーションにおいて仮想剛体に加えることもできる。外力は、1以上の自由度で測定され、力/トルクベクトルとしてモデル化されてもよい。仮想シミュレーションの結果は、最終的に複数のアクチュエータ21、22、23のそれぞれについての指令関節位置を決定するために使用され得る指令姿勢である。センタリング位置は、アクチュエータ範囲の中央点と、そのアクチュエータの関節限界との間であってもよい。

30

40

【0170】

仮想シミュレーションにおいて、仮想制約のそれぞれは、調整パラメータを用いて修正されてもよい。各調整パラメータは、仮想シミュレーションにおいて、それぞれの仮想制約が制約力に対して増大した効果を有するようにしてもよい。一例においては、関節センタリング制約は、第1の値を有する調整パラメータを有してもよく、ガイド制約は、第2の値を有する調整パラメータを有してもよく、調整パラメータのそれぞれは、それぞれの仮想制約が最終的に算出される制約力に対して増大した効果を有するようにする。一例においては、関節センタリング制約の調整パラメータは、ガイド制約の調整パラメータより

50

も小さく、これにより、制約力が、アクチュエータのうちの少なくとも1つを関節センタリング位置、例えば中心点／ホーム位置から離れるよう動かしながら、ツール20を目標姿勢に動かす方向へ、仮想シミュレーション並びに後続する指令姿勢及び指令関節位置を付勢する。制御システム60は、複数のアクチュエータのうちの少なくとも1つの位置と位置限界とに基づいて、関節限界制約を更にアクティブにしてもよい。関節限界制約は、他の仮想制約（例えば、ガイド制約、関節センタリング制約）とともに解かれて、制約力を決定してもよい。一例においては、関節センタリング制約調整パラメータは、第1の値を有し、ガイド制約調整パラメータは、第2の値を有し、関節限界制約調整パラメータは、ガイド制約調整パラメータ及び関節センタリング制約調整パラメータの値よりも大きい第3の値を有する。関節限界制約の調整パラメータが、ガイド制約の調整パラメータ及び関節センタリング制約の調整パラメータよりも大きいことにより、仮想シミュレーションは、仮想鋸刃に加えられる制約力が関節限界制約を満たす見込みがより高くなることを確実にする。本例においては、関節限界制約が、最も高い値を有するので、仮想鋸刃に及ぼされる仮想力は、関節限界内の位置にガイドされ、関節限界位置を越えない指令位置に帰着する。本例において使用され得る1つのかかる調整パラメータは、制約の硬直性である。

10

【0171】

（関節限界制約）

関節限界制約は、複数のアクチュエータを制御するときに、ツール支持体18の動きに影響を与えるために仮想シミュレーションにおいて利用される仮想力及び／又はトルクを表す、別の仮想制約である。関節限界制約は、アクチュエータ21、22、23がその可動域外に移動することを防止することを意図された、ツール支持体18の動きにおける特定の制限を実装するために、制御システム60によって使用される。関節限界制約はまた、アクチュエータ移動限界に近すぎると考えられる移動の閾値を強制し得る。以下に更に説明されるように、関節限界制約は、設定可能なばね及び減衰特性を有する。しかしながら、ソフトストップ及びハードストップのような関節限界が、ツールが過度に延在する又は後退するのを防止するために依然として動作可能である。

20

【0172】

関節限界制約は、ツール支持体18をガイドするために、制御システム60によって使用され得る。以下により詳細に説明されるように、制御システム60は、仮想制約（関節限界制約を含む）を満たしている又は満たそうとする制約力 F_c を算出するように動作する。制約力 F_c は、アクチュエータ関節限界に違反しないように意図された態様で、ツール支持体18及びツール20を動かすために、仮想力及びトルクをその中に組み込んだものである。関節限界制約は、1次元の仮想制約と考えられる。例えば、関節限界制約は、一面的であってもよく、かくして関節限界から「離れるように押す」ことができるが、関節限界に向けて引き寄せはしないものであってもよい。いくつかのバージョンにおいては、関節限界制約は、所望の制約パラメータに従ってオブジェクトの速度の変化を引き起こすために、仮想シミュレーションにおけるオブジェクトに仮想インパルスを適用するように、力及び／又はトルクが算出される、速度インパルス制約である。関節限界制約に加えて他の制約が利用される場合、制約ソルバは、最終的に、全ての仮想制約を満たしている又は満たそうとする制約力 F_c についての解を提供することをタスクとするものであり、かくして、その他の制約は、制約力の大きさ及び／又は方向に影響を及ぼし得ることは、理解されるべきである。

30

40

【0173】

関節限界制約は、主に3つのパラメータ、すなわち、以前の指令関節位置と、関節限界の位置と、関節の動きを仮想質量の動きに関連付ける、関節センタリング制約のために使用されるものと同じ、制約ヤコビアン J_p とにより定義される。関節限界制約は、関節限界位置と以前の指令位置との間の位置の差の計算を利用する。いくつかの実施態様においては、関節限界制約は、以前の指令位置の代わりに、現在の測定された位置に基づいて計算されてもよい。

【0174】

50

関節限界制約は、アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれの物理的及び仮想的な限界を越えてアクチュエータ 21、22、23 が延在及び／又は後退することを防止するための力として決定及び算出される。器具コントローラ 28 は、各アクティブ軸 AA1、AA2 及び AA3 に沿った以前の指令位置を分析し、関節限界制約を決定する。関節限界制約は、指令姿勢を計算する際に、関節センタリング制約、ガイド制約、作業空間制約、及び／又はその他の仮想制約とバランスをとられる。関節限界制約は、ホームング手順の間に測定された移動の端のすぐ手前のカウント値において設定された、ソフトウェアにより可能とされるストップであり得る、関節限界（ソフトストップ）に基づくものであってもよい。ソフトストップは、ソフトウェアに予めプログラムされた値であってもよい。ソフトストップは、カウント値と予めプログラムされた値との組合せであってもよい。

10

【0175】

(作業空間制約)

作業空間制限制約は、複数のアクチュエータを制御するときに、ツール支持体 18 の動きに影響を与えるために仮想シミュレーションにおいて利用される仮想力及び／又はトルクを表す、別の仮想制約である。作業空間制限制約は、ツール 20 がその作業空間の外を移動するのを防止することを意図された、ツール支持体 18 の動きにおける特定の制限を実装するために、制御システム 60 によって使用される。作業空間制限制約は、関節空間ではなく（関節限界制約についてはそうであるが）、直交座標空間において定義された方向に沿って力を及ぼす。作業空間制限制約は、以下に更に説明されるように、作業空間制約が無限に硬直したものとならないように、設定可能なばね及び減衰特性を有する。より具体的には、いくつかのバージョンにおいては、作業空間限界制約は、作業空間制約が、他の制約によって反対方向に加えられる力及びトルクに起因する動きのような、それに違反する動きを阻害はするが防止はしないような、「ソフト制約」として定義される。

20

【0176】

作業空間制限制約は、定義された作業空間の外のような場所へのツール支持体 18 及びツール 20 の動きを防止するために、制御システム 60 によって使用され得る。以下により詳細に説明されるように、制御システム 60 は、仮想制約（作業空間制約を含む）を満たしている又は満たそうとする制約力 F_c を算出するように動作する。制約力 F_c は、作業空間制限に違反しないように意図された態様で、ツール支持体 18 及びツール 20 を動かすために、仮想力及びトルクをその中に組み込んだものである。作業空間限界制約は、作業空間限界制約が単一方向にのみ力を加えることができる（すなわち作業空間限界から「離れるように押す」が、作業空間限界に向けて引き寄せることはない）点において、1次元の仮想制約と考えられる。いくつかのバージョンにおいては、作業空間制限制約は、所望の制約パラメータに従ってオブジェクトの速度の変化を引き起こすために、仮想シミュレーションにおけるオブジェクトに仮想インパルスを適用するように、力及び／又はトルクが算出される、速度インパルス制約である。以上に説明されたように、作業空間制限制約は、手動で又は自動的に（全文を通して説明される様々な位置又は角度の関係に基づいて）調整可能である、1つ以上の調整パラメータを含んでもよい。

30

【0177】

作業空間制限制約は、ツールの姿勢と、典型的には BCS 座標系に関して定義される所定の直交座標空間とに基づいてもよい。ツール 16 の姿勢は、以上に説明されたように算出されてもよい。以下により詳細に説明されるように、制御システム 60 は、作業空間限界制約（及び使用される場合には他の仮想制約）を満たしている又は満たそうとする制約力 F_c を算出するように動作する。制約力 F_c は、作業空間限界制約が違反されないようにツール 20 を動かすために、仮想力及びトルクをその中に組み込んでいる。各作業空間制限制約は、ツール 20 が作業空間境界に接触する点における作業空間境界の法線に沿った、許容される作業空間領域に向けて内側方向を指す制約方向を有する。典型的には、制約方向は BCS 座標系において定義されるが、他の座標系が使用されてもよい。制約方向は、作業空間制約が有効に力を加えることができる方向である。そして、制約方向に沿ったツール 20 の動きを、仮想質量 V_M の動きに関連付ける、制約ヤコビアン J_p が決定さ

40

50

れてもよい。これに加えて、作業空間制限制約はまた、ツールによって接触されている適用可能な作業空間制限境界と、ツール姿勢を比較することによって、侵入深さ（すなわち、作業空間制限が制約方向に沿ってどれだけ違反されたか）の計算を利用してもよい。

【0178】

作業空間限界制約以外の他の制約が利用される場合、制約ソルバは、最終的に、全ての仮想制約を満たしている又は満たそうとする制約力 F_c の解を提供することをタスクとし、かくして、他の制約は、制約力の大きさ及び／又は方向に影響を与え得ることは、理解されるべきである。

【0179】

図3A～図5C及び図23に最もよく示されているように、複数のアクチュエータ21、22、23は、ピッチ、ロール、及び軸Zに沿った並進（垂直並進）を含む少なくとも3自由度で、ツール支持体18及びツール20を手持ち部分16に対して動かすことが可能である。これらの個々の自由度は、図3A～図3C（ピッチ）、図4A～図4C（ロール）、及び図5A～図5C（z軸）に最もよく示されている。図23は、立方体の形状の体積として示された、1つの例示的な所定の直交座標空間を示す。所定の直交座標空間の他の形状は、八面体、非対称八面体、球体、立方体、円柱等のような体積として実装されてもよい。特に、いくつかの例においては、体積として定義される場合の直交座標空間は、アクチュエータのそれぞれがホーム位置にあるときにツール支持体18と手持ち部分との間の平面位置について非対称となるような、非対称の形状であってもよく、直交体積が平面の下よりも平面の上で大きくなるようなものであってもよい。本例においては、体積は、複数の直交点によって定義されてもよい。この体積は、作業可能空間（dexterous workspace）よりも小さくても（全ての到達可能な構成よりも小さくても）よい。代替としては、所定の直交空間は、各自由度において別個に定義されてもよい。例えば、直交空間は、複数の直交点を用いて定義されてもよい。所定の直交空間はまた、鋸刃380がそれに沿って又はその周りに変位可能な軸（x、y及びz）のうちのいずれか1つ、2つ、又は3つに基づく、1つ以上の向きによって定義されてもよい。

【0180】

手持ち部分に対する刃支持体の可動域が、ロールにおいてよりもピッチにおいて大きくなり得るように、器具が制御されてもよい。代替として又はこれに加えて、器具は、手持ち部分に対する刃支持体の可動域が、ロールにおいてよりも仰角において大きくなるように制御されてもよい。1つの潜在的な実施態様においては、器具は、関節限界制約と作業空間制約との組合せを使用して制御されてもよい。これに加えて、1つ以上の他の仮想制約が、ガイド制約及び／又は関節センタリング制約のような、関節限界制約及び作業空間制約と同時に使用されてもよい。制約ソルバは、関節限界制約及び作業空間制約（及び利用されている他の仮想制約）に基づいて、仮想鋸刃を動かすよう適合された制約力を算出するように構成されてもよい。仮想鋸刃の動力学は、制約力に基づいてシミュレートされ、指令姿勢を出力する。その指令姿勢に基づいて、システムは、指令姿勢に基づく複数のアクチュエータのそれぞれの指令関節位置を決定する。そして、複数のアクチュエータのそれぞれは、その指令位置を使用して制御される。

【0181】

関節限界（関節空間において定義される）と組み合わせた作業空間制限（直交座標において定義される）の使用は、器具の制御に関して利点を提供し得る。両方の制限の実装は、制御における特異点を回避するための追加的な選択肢を提供し、1つ以上のフレックス回路に損傷を与え得る脆弱な姿勢を回避することによって設計における追加的な堅牢性を提供し、及び／又は機械的干渉を回避するための追加的な選択肢を提供し得る。例えば、制御システム60は、ピッチ、z軸仰角、又はその両方において、作業空間制約及び関節限界制約よりも、作業空間制約及び関節限界制約をより制限することによって、手持ち部分16に対する刃支持体18のロール量を制限するために、作業空間制限を実装してもよい。ロールに対する作業空間制限を他の制御される自由度（ピッチ及び仰角）よりも高く設定することにより、制限されたロールは、機械的能力よりも少ないロールとされ得る。

いくつかの場合においては、ロール方向における作業空間制約は、ピッチ及び z 軸方向における他の制御される自由度と同じ量又はそれよりも少ない機械的な動きを有してもよい。

【0182】

代替としては、複数のアクチュエータの可動域は、制約なしで制御されてもよい。かかる実施態様においては、アクチュエータの位置及び限界位置に基づいて、関節限界挙動が決定され、ツールの姿勢及び所定の直交空間に基づいて、作業空間限界を決定する。そして、制御システム60は、鋸刃380の姿勢、関節限界位置、及び所定の直交空間に基づいて、複数のアクチュエータ21、22、23のそれぞれを制限するように構成される。

【0183】

作業空間制限はまた、作業空間制約を形成すること以外の理由で使用され得る。例えば、器具に対して規定された作業空間限界は、駆動モータを制御するために使用されてもよい。制御システムは、作業空間限界、外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの1つの姿勢に基づいて、任意選択的に、モータステータスを考慮して、ツール駆動モータを制御することができる。さらに、制御システムは、外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体の姿勢、並びに境界及び／又はモータステータスのうちの1つに基づいて、作業空間限界を変化させることができる。これは、同様の要因に基づいてアクチュエータ限界を設定することの代替案と見なすことができる。こうした実施態様は、関節空間における制御に対する直交座標空間における制御である。したがって、全体を通して、関節限界の議論は、作業空間限界内で置き換えることができることが企図され、こうした代替形態が明示的に企図される。

【0184】

(運動学的動き制約)

複数のアクチュエータによって制御されない自由度、すなわち、制御されない自由度を制御するために、制御システムによって運動学的動き制約が使用されてもよい。一例においては、器具が3つの制御される自由度と3つの制御されない自由度とを含む場合、運動学的動き制約は、3つの制御されない自由度(ヨー、 x 並進及び y 並進)で使用されてもよい。仮想シミュレータは、6自由度において力を受ける仮想質量を使用して仮想制約をモデル化するので、運動学的動き制約は、仮想シミュレータにおける仮想質量モデルが、ツール20の物理的に関連する運動学的姿勢と一致したままとなり、ツール20が制御されない自由度で仮想シミュレーションにおいて離れて行くのを防止するために、利用される。運動学的動き制約は、運動学的姿勢と仮想質量との間のヨー、 X 並進及び Y 並進の差を測定するために使用される。これらの運動学的動き制約に基づいて計算された制約力は、それらの差が正であれ負であれ、それらの差を打ち消すように計算され、かくしてこれは二面的な制約である。運動学的動き制約は、直交空間において計算される。関節限界制約は、複数のアクチュエータがその関節閾値を超えないことを確実にするが、運動学的動き制約は、常にアクティブであり、制御されない自由度が仮想質量の座標系において位置合わせされることを確実にする。

【0185】

(境界制約)

制御システムはまた、1つ以上の境界制約を利用してもよい。境界制約は、ツールの姿勢とともに、以上に説明された1つ以上の仮想境界に基づくものであってもよい。境界制約は、制約生成及びアクチュエータ制御(ここで説明される)、駆動モータ制御のために機能してもよく、一緒に使用されてもよく、別々に使用されてもよく、又はそれらの組合せであってもよい。境界制約は、ツールが仮想境界を越えることを防止する、仮想質量に対する力に帰着し得る。境界制約は、駆動モータの制御に関して以上に説明された仮想境界のいずれかを利用してよいことは、理解されるべきである。境界制約の場合、仮想境界は、鋸駆動モータを制御するのではなく、複数のアクチュエータを制御するために利用されることは、理解されるべきである。いくつかの例においては、境界制約又はその他の境界制御方法は、衝突検出を利用してもよい。

【0186】

一例においては、境界は三角形のメッシュとして定義されてもよく、メッシュのどの部分がツール20によって接触され得るかを決定するために、衝突検出アルゴリズムが使用されてもよい。まず、制御システム60は、ツール20の領域内に位置する候補の三角形のリストを生成するために、広位相衝突検出を実行する。次に、候補の三角形のそれぞれについて、狭位相衝突検出が実行されて、ツール20が三角形に接触するか否か、及びツール20が境界を通過してどの程度の侵入深さ（三角形の法線に沿って）に達するかを確認する。境界制約は、ツールと接触している三角形、すなわち狭位相衝突検出からの出力三角形に対してのみ、生成されてもよい。いくつかの場合においては、ツール20は、ツール20の周縁に沿って配置された離散的な球（ツールの厚さに等しい直径を有する）又は離散的な掃引球（カプセル形状）のような、プリミティブな幾何学的形状のアレイを使用してモデル化されてもよい。衝突検出処理は、メッシュ三角形との衝突を探すために、プリミティブ要素（例えば離散的な球）についてのそれぞれに対して繰り返されてもよい。境界制約は、ツールの幾何学的プリミティブとメッシュ三角形との間の各接触について生成されてもよい。

10

【0187】

典型的には、境界は、患者トラック54、56に対して定義されるが、他の基準座標フレームが使用されてもよい。制御システム60が、ツール20の幾何学的プリミティブ又はVMに接触する境界メッシュの点を決定した後、境界制約が計算されてもよい。1自由度の、一面的な（境界から離れる方向に加えられる力）境界制約が、その結果の各狭位相三角形について計算されてもよい。境界制約の方向は、三角形の法線に沿ったものである。境界の侵入深さもまた、この境界制約方向に沿って測定されてもよい。制約ヤコビアン J_p は、三角形の法線（境界制約方向）に沿ったツール20の動きを、その結果の仮想質量の動きにマッピングするように計算される。解剖学的構造トラックに取り付けられた（すなわち、ツール20に対する相対速度を有する）任意の境界制約について、 $V_{desired}$ が計算される必要があり得る。 $V_{desired}$ は、骨とツール20との間の相対速度の制約方向への投影であってもよい。別の例においては、ツールが完全に境界を越えているとき、境界制約生成（及びその結果のアクチュエータ制御）を介してではなく、駆動モータMの制御によって処理される。

20

【0188】

境界制約以外の他の制約が利用される場合、制約ソルバは、最終的に、全ての仮想制約を満たしている又は満たそうとする制約力 F_c についての解を提供することをタスクとするものであり、かくして、その他の制約は、制約力の大きさ及び／又は方向に影響を与え得ることは、理解されるべきである。

30

【0189】

（外力）

1つのバージョンにおいては、器具14は、ツール20に影響を及ぼす又は影響を与えるために、ユーザによって又は骨によって器具14に加えられる力及びトルクを計算、推定、又は測定するように構成され得る。例えば、器具14は、ユーザ又は骨によってツール20に加えられた力及びトルクを検出及び測定してもよく、制御システム60によって使用される対応する入力（例えば1つ以上の対応する入力／出力信号）を生成する。ユーザによって加えられる力及びトルクは、複数のアクチュエータの制御を決定及び容易化するために使用される、外力 F_{ext} を少なくとも部分的に定義する。外力／トルク測定値を仮想シミュレーションに含めることによって、ユーザ又は骨によって加えられる力が、仮想シミュレーションに持ち込まれ得る。このことは、仮想制約が、物理的に加えられる力に対して整合性を有することを可能とし得る。例えば、ガイド制約は、特定の硬直性及び減衰を有する。外力（ F_{ext} ）が仮想シミュレーションに含まれるとき、ツールは、ユーザがガイド制約の整合性を「感じる」ような態様で位置決めされてもよい。このことは、ツールの制御が、ユーザが加える力に対してより応答性の高いものとなることを可能とし得る（すなわち、仮想シミュレーションにおいて、加えられるユーザ／骨の力とガイ

40

50

ド制約の硬直性との間に平衡が見出され得る)。ユーザが大きな力を加える場合、望ましい場合には、ガイド制約は、その調整パラメータに基づいて、ユーザによって部分的に上書きされてもよい。このことは、鋸刃と切断面、又はツールと計画された軌道との間の、小さな位置ずれの場合に、ユーザに対するツールの結合又は抵抗を制限するために使用されてもよく、仮想的な整合性は、刃又はツールがその目標姿勢に完全に到達できないときに、高い力又はハンドルを通してユーザによって感じられる正のフィードバックを及ぼすことなく、その小さな誤差が解決（バランスアウト）されることを可能とする。 F_{ext} 測定がなければ、仮想制約の硬直性は、ユーザ又は骨により刃に対して加えられる物理的な力を考慮に入れることなく、他の仮想制約によって加えられる力との平衡を見出し得る。外力を仮想シミュレーションに含めなければ、ユーザによって加えられる力は、指令姿勢を決定する際に考慮されない。例えば、この外力は、以上に説明された他の仮想制約と組み合わせて制約ソルバに外力を含め、そして、仮想シミュレーションにおいて仮想剛体に外力を加えることによって、指令姿勢の計算において使用されてもよい。外力 F_{ext} は、ユーザによって又は骨によって加えられるものとは別に、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 9, 119, 655 号に記載されているように、重力補償力、バックドライブ力、及びその他の仮想力のような、他の力及びトルクを含んでもよい。かくして、ユーザによって加えられる力及びトルクは、外力 F_{ext} を少なくとも部分的に定義し、いくつかの場合においては、ツール 20 の全体の動きに影響を与える外力 F_{ext} を完全に定義し得る。いくつかの例においては、器具は、手持ち部分、ツールプラットフォーム、又はこの 2 つの構成要素の間に位置決めされた、6 自由度の力／トルク変換器として実装される、力／トルクセンサ S を含んでもよい。他の例においては、アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれにおける線形力センサ、又はアクチュエータモータ出力のそれぞれにおけるトルクセンサも、使用され得る。これに加えて、力／トルクセンサに代えて、モータ電流が、モータトルクの低忠実度の近似値として使用されてもよい。これらの関節空間の力／トルク測定値のそれぞれは、マニピュレータの運動学に基づく適切なヤコビアンを使用して、仮想質量 VM に作用する等価な力／トルクに変換されてもよい。器具コントローラ 28 及び／又はナビゲーションコントローラ 36 は、力／トルクセンサから入力（例えば信号）を受信してもよい。いくつかのバージョンにおいては、外力は、力／トルク座標系 F_T から、 VM 座標系のような別の座標系に変換される。かかる方法においては、本方法は、複数のアクチュエータのそれぞれに供給される電流の量を感知することと、1 つ以上の電流センサの出力に基づいて刃支持体と手持ち部との間に加えられる外力の量を推定することと、推定された外力の量に基づいて目標姿勢に向けて仮想鋸刃を動かすよう適合された制約力を算出することとを含んでもよい。

10

20

30

40

【0190】

代替的な実施態様では、外力は、ツール支持体及び手持ち部分に加えられる外部作用力の量と見なすことができる。推定された外部作用力の量は、力又はトルクであり得る。推定された力又はトルクは、1 以上の自由度で計算され得る。図 54 を参照すると、こうした実施態様では、制御システムは、加えられる推定された外部作用力の量に基づいて、インジケータ 300 を表示するように表示画面を制御することができる。このインジケータ 300 は、器具の過度の「抵抗」が発生している可能性があることを示すことができ、これは、刃とツールのレジストレーション誤差を示す可能性がある。例示的な刃レジストレーション技術は、引用することによりその全体が本明細書の一部をなすものとする PCT 出願である PCT/US2021/064328 号に記載されている。

【0191】

代替として、制御システム 60 は、加えられた推定された外部作用力の量に基づいて駆動モータ M を制御するように構成することができる。例えば、制御システム 60 は、印加された推定された外部作用力の量に基づいて、駆動モータ M を減速又は無効化することができる。

【0192】

制御システム 60 は、加えられる推定された外部作用力の量及び力閾値に基づいて、イ

50

ンジケータ 300 又は駆動モータ M を制御することができる。例えば、制御システム 60 は、加えられる推定された外部作用力の量が 1 以上の自由度における力／トルク閾値を超えるときに、インジケータ 300 又は駆動モータ M を制御することができる。

【0193】

さらに、制御システム 60 は、推定された外力の量、力閾値、及び誤差カウンタに基づいて、インジケータ及び／又は駆動モータ M を制御することができる。誤差カウンタは、推定された量の力が最小時間間隔を超えて閾値を超える全ての場合にトリップするように構成される。誤差カウンタが、3 つのインスタンス等の誤差カウンタ閾値等の所与の数を超えると、制御システム 60 は、過剰量の刃の抵抗が発生していることをユーザに伝えるように、インジケータ 300 及び／又は駆動モータ M を制御することができる。

10

【0194】

代替として、制御システムは、推定された力の量及び 5 秒又は 10 秒等の時間閾値に基づいて、インジケータ 300 及び／又は駆動モータ M を制御することができる。より具体的には、制御システム 60 は、推定された外力の量が、5 秒又は 10 秒より長い等、時間閾値より長い間、1 以上の自由度において力閾値を超えるとき、インジケータ 300 及び／又は駆動モータ M を制御するように構成することができる。

【0195】

制御システム 60 は、ピッチ自由度についての異なる閾値、仰角自由度についての異なる閾値、及び／又はロール自由度についての異なる閾値等、各自由度についての異なる力閾値、誤差カウンタ閾値、及び／又は時間閾値を利用することができる。

20

【0196】

インジケータ 300 は、可視インジケータ、触覚インジケータ、又は可聴インジケータであってもよく、スピーカ、表示画面、光、振動モータ等によって生成され得る。インジケータは、器具 14 上に搭載されるか、又はナビゲーションシステム 32 若しくはコンソール 33 の一部等の他の場所に位置することができる。インジケータ 300 は、制御システム 60 のユーザインタフェース UI に関連付けられたアプリケーション上の表示画面又はアイコンの形態をとることができる。

【0197】

インジケータ 300 が表示画面又はアイコンである例では、制御システム 60 は、ユーザインタフェースを制御して、加えられた外部作用力に基づいてツール対器具のレジストレーションをチェックするようにユーザに促すように構成することができる。他の例では、制御システム 60 は、加えられる推定された外部作用力の量に基づいて、ツール対器具のレジストレーションワークフローを開始するようにユーザインタフェース UI を制御することができる。

30

【0198】

上述のように、推定された外力の量は、力センサ、トルクセンサ、及び／又は複数のアクチュエータのそれぞれに印加される電流の量を検出するように構成された電流センサのうちの少なくとも 1 つを使用することによって推定され得る。

【0199】

(動作)

40

器具 14 の制御は、データ接続を通してナビゲーションコントローラ 36 から器具コントローラ 28 に送信される、解剖学的構造（例えば大腿骨 F 又は脛骨 T）及び器具 14 の最新の位置及び／又は向きを考慮に入れる。これらのデータを使用して、器具コントローラ 28 は、所望の座標系における目標平面又は目標軌跡及び／又は仮想境界 184 の姿勢（すなわち位置及び／又は向き）を決定する。目標平面及び／又は仮想境界 184 に対するツール 20（例えば TCP）の相対的な姿勢もまた計算される。器具コントローラ 28 は、ナビゲーションシステム 32（ディスプレイ 38 を含む）を、ツール 20 が適用されるべき解剖学的構造に対するツール 20 の位置及び／又は向きを用いて更新する。目標平面及び／又は仮想境界 184 の位置の指標もまた、提示されてもよい。

【0200】

50

目標平面及び／又は仮想境界 184 に対するツール 20 の相対的な位置は、動作がとられる必要があるか否か、すなわち、ツール 20 を動かす、ツール 20 の速度（振動速度のような）を変える、ツール 20 の動作を停止する等の必要があるか否かを決定するために、器具コントローラ 28 によって評価される。指示データパケットは、例えば、器具コントローラ 28 等から、モータコントローラに送信される。これらの指示データパケットは、モータ 142 のロータ 148 についての指令位置（又はアクチュエータの目標位置）を含む。ここで、各指令位置は、関連するロータ 148 についての目標累積エンコーダカウント、又はアクチュエータの位置の他の表現を表す、正又は負の数であってもよい。器具コントローラ 28 は、0.05 ミリ秒毎～4 ミリ秒毎に 1 つのパケットの割合で、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。いくつかの例においては、各モータコントローラは、少なくとも 0.125 ミリ秒毎に 1 回、指示データパケットを受信する。器具コントローラ 28 はまた、仮想境界 184 のうちの 1 つ以上に対するツール 20 の相対位置に基づいて、器具 14 の切断速度を選択的に調整してもよい。例えば、ツール 20 の振動及び対応する切断を制御する駆動モータ M は、例えば、ツール 20 が目標平面から閾値を超える量だけ外れている、仮想境界 184 へのツール 20 の侵入が閾値より大きい等のような、ツール 20 が仮想境界 184 に対して望ましくない関係にある場合にはいつでも、器具コントローラ 28 によって無効にされてもよい。制御システム 60 が、光学追跡システムがツールトラック 52 及び／又は患者トラック 54、56 に対する視線を保持しているか否かに基づいて、駆動モータ M を制御してもよいことも企図される。例えば、制御システム 60 は、視線が所定の量の時間の間損なわれている場合、駆動モータ M を停止させてもよい。

10

20

【0201】

使用の間、1 つの潜在的な実施態様においては、制御システム 60 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って、ナビゲーションシステム 32 を用いてツール 20 の姿勢（現在の姿勢）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 のそれぞれに配置された 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 のそれぞれの現在の位置を決定してもよい。アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれの現在の位置が受信されると、器具コントローラ 28 は、順運動学を使用して、手持ち部分 16（BCS）に対するツールの現在の姿勢（TCP）を算出してもよい。ローカライザデータは、患者トラック 54、56 とツールトラック 52 との間の相対的な姿勢を決定するために使用されてもよい。前述の姿勢は、追加的な較正及びレジストレーションデータとともに、患者トラック座標系のような所望の座標系に対する手持ち部分 16 の姿勢（例えばベース座標系 BCS の現在の姿勢）を計算するために組み合わせられてもよい。

30

【0202】

いくつかの例においては、手持ち部分の現在の姿勢は、手持ち部分 16 上に位置するトラック 53 により、ナビゲーションシステム 32 を用いて決定される。所望の座標系（例えば患者トラック）に対する BCS の姿勢は、追加的な較正及びレジストレーションデータとともに、ローカライズデータを使用して直接的に決定されてもよい。一例においては、器具は、図 24 に示されるように、器具 14 上の 2 つのトラック、すなわち手持ち部分 16 上の手持ち部分トラック 53、及びツール支持体 18 上に位置するツールトラック 52 を含む。ナビゲーションシステム 32 は、手持ち部分 16 上のトラック 52、及び所望の座標系（例えば患者の解剖学的構造）上のトラック 54、56 の位置から、所望の座標系（例えば患者トラック）に対する BCS の姿勢を決定する。

40

【0203】

器具コントローラ 28 が、所望の座標系における手持ち部分 16 の姿勢を得ると、器具コントローラ 28 は、複数のアクチュエータ 21、22、23 を制御してもよい。実施態様においては、器具コントローラ 28 は、手持ち部分 16 の現在の姿勢に基づき、かつ目標平面としての対象である計画された仮想オブジェクトの位置及び／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

50

画された仮想オブジェクトと位置合わせされていることに帰着する、BCSに対するTCPの姿勢（指令姿勢）を計算する。この指令姿勢は、任意に、仮想制約（ガイド制約、関節センタリング制約、関節限界制約、作業空間制約）を使用して計算されてもよい。器具コントローラ28は、逆運動学を使用して、指令姿勢を複数のアクチュエータ21、22、23のそれぞれについての指令位置に変換し、そして、指令位置に動くようにアクチュエータ21、22、23に指令命令を送り、それによって、手持ち部分に対するツール支持体18及びツール20の姿勢を変化させることができる。

【0204】

図17A～図17Eに見られるように、制御システムは、特定の条件及びパラメータに基づいて、器具の動き及び駆動モータMの通電を決定する。図17Dから始めると、1つ以上のトラック54、56が患者の解剖学的構造（例えば大腿骨、脛骨）上に配置され、1つ以上のトラック52が器具14上に配置される。ローカライザ44は、各トラック52、54、56の位置を捕捉し、その位置情報を共通の座標系へと処理する（図17B）。そして、ローカライザ44から、臨床アプリケーション190及び制約生成器384にデータが渡される。

【0205】

臨床アプリケーション190は、ツールに指令するために制御システムにより使用されるレジストレーション及び計画変換を算出するために使用される。図17Aにおいて、臨床アプリケーションは、ローカライザ44からデバイストラック52及び患者トラック54、56の姿勢情報を受信する。臨床アプリケーション190はまた、ポインタトラックPT、デバイストラック52及び患者トラック54、56に関連するローカライザデータを使用して、ハンドピースの設定及びレジストレーション、骨のレジストレーション、インプラント計画、並びに骨の調製に基づいて、デバイス指令変換を算出してもよい。

【0206】

臨床アプリケーション190内では、ツールトラック52及びポインタトラックPTの情報が、ツールトラックからTCPへの（ツールトラック→TCP）変換を生成するためにハンドピースの設定及びレジストレーション情報を用いて処理される。これは、2つのレジストレーションステップ、すなわち：1）ツールトラック52へのツール支持体18のレジストレーション、及び2）ツール（TCP）へのツール支持体18のレジストレーションの結果を組み合わせることによって、計算されてもよい。その結果のツールトラック→TCPの変換（すなわち器具レジストレーション結果）は、制約生成器384に転送される。ローカライザ44からの位置情報は、骨レジストレーションデータを用いて、骨→患者トラック間変換を算出するために使用され、そして、患者トラック→骨変換をもたらすために反転させて、患者トラックの位置を骨に関連付ける。ユーザインタフェースUIのうちの1つ以上を利用して、ユーザは、画面上の骨モデルに関して所望のインプラントのサイズ及び位置を調節して、臨床アプリケーションが、インプラントの計画された位置及び／又は向きに対する骨の位置に基づいて、骨→インプラント変換を生成することを可能としてもよい。選択されたインプラントの既知の幾何学的形状及びサイズに基づいて、臨床アプリケーションは、インプラントの計画された姿勢の、所望の1つ以上の目標切断面TPへの変換、インプラント→目標平面変換、又は所望の1つ以上の目標軌道を探す。仮想境界は、選択されたインプラントに基づいて算出されてもよい。患者トラック→骨の変換と、骨からインプラントへの変換（B→IM）とが組み合わせられて、骨レジストレーション及びインプラント計画の組み合わせられた結果である、患者トラック54、56からインプラント姿勢への変換（患者トラック→IM）をもたらす、制約生成器384に転送される。IMからTPへの変換は、ガイド制約を生成するために使用されてもよく、境界は、境界生成器を用いて境界制約（使用される場合）を生成するために使用されてもよい。境界情報はまた、駆動指令ハンドラ192に送信されてもよい。

【0207】

最終的に手持ち部分からローカライザへの変換を決定するために、3つの変換、すなわち、a）手持ち部分からTCPへの変換、動きコントローラ188から受け取った順運動

10

20

30

40

50

学結果、b) ツール支持体からTCPへの変換、臨床アプリケーション190から受け取ったツールレジストレーション結果、及びc) ローカライザ44から受信された、ツールトラックからローカライザへの変換が利用される。ローカライザから患者トラックへの変換もまた、ローカライザ44から受信され得る。そして、手持ち部分から患者トラックへの変換が、a) 手持ち部分からローカライザへの変換、及びb) ローカライザから患者トラックへの変換に基づいて計算されてもよい。ツールトラック座標系及びツール支持体座標系は、ツール支持体の姿勢が、既知の較正された及び／又はレジストレーションされた変換を用いてTCPに対して固定され得るので、互いと交換可能に使用され得ることは、理解されるべきである。

【0208】

上述したように、制約生成器384は、ガイド制約及び／又は任意の境界制約を計算するために、ローカライザから患者トラック54、56及びデバイストラッカの位置データを、臨床アプリケーション190からレジストレーション及び計画変換を、動き制約ハンドラ390（以下に更に説明される）を含む挙動コントローラ186及び動きコントローラ188から追加的なデータ入力を受信する。制約生成器384は、ツール20についての指令姿勢を計算するために、解かれるべき制約のセットを作成するよう、受信されたデータを処理する。上述したように、ガイド制約は、ツール20を目標状態に動かす仮想シミュレーションにおいて利用される仮想力及びトルクをもたらすように定義される、仮想制約である。制約生成器384が、解かれるべきアクティブな制約のセットを決定すると、その情報は、挙動コントローラ186に転送される。

【0209】

挙動コントローラ186は、ツール20についての次の指令位置及び／又は向き（例えば姿勢）を示すデータを計算する。いくつかの例においては、挙動コントローラ186は、制約のセットを解き、仮想シミュレーションを実行することに基づいて、次の指令姿勢を計算する。動きコントローラ188の動き制約ハンドラ390からの出力は、ツール20についての次の指令位置及び／又は向きを決定するために、挙動コントローラ186に入力として供給されてもよい。図17Bに見られるように、挙動コントローラ186は、指令姿勢を決定するために様々な仮想制約を処理する。制約ソルバ189は、関節限界制約及び関節センタリング制約、並びに作業空間制約及び運動学的動き制約のような、動きコントローラ188の動き制約ハンドラ390によって生成された制約を取り込む。制約ソルバ189はまた、ガイド制約及び境界ハンドラ385からの境界制約のような、制約生成器384からの制約を取り込む。制約ソルバ189は更に、挙動コントローラ186によって処理され、制約ソルバ189に再び追加される、慣性力及び減衰力を受ける。これらの制約が制約ソルバ189に加えられると、制約ソルバ189は制約力を生成し、これは慣性力及び減衰力のような全ての仮想力、並びに任意に外力と合計される。そして、合計された仮想力は、仮想順動力学を用いて処理される。そして、仮想順動力学から出力された姿勢及び速度は、挙動コントローラ186内で慣性力及び減衰力を計算するために送信され、また、動きコントローラ188へとツール支持体（手持ち部分からTCP）の指令姿勢及び速度コマンドとして転送される。指令姿勢（手持ち部分からTCP）はまた、制約を生成する際に使用するために制約生成器384に送り返される。

【0210】

動きコントローラ188は、ツール支持体18の動き、具体的にはTCP座標系を制御する。動きコントローラ188は、挙動コントローラ186から次の指令姿勢を定義するデータを受信する。このデータに基づいて、動きコントローラ188は、ツール支持体が挙動コントローラ186によって指令されるように、例えば指令姿勢で、手持ち部分に対する姿勢をとることができるように、アクチュエータのそれぞれの次の位置を（例えば逆運動学及びヤコビアン計算機を介して）決定する。言い換えれば、動きコントローラ188は、直交座標において定義され得る手持ち部分に対するツール支持体の指令姿勢を、複数のアクチュエータ21、22、23の指令関節位置へと処理し、これにより、器具コントローラ28がそれに応じてアクチュエータに指令できる。1つのバージョンにおいては

、動きコントローラ 188 は、手持ち部分に対するツール支持体の位置を調整し、指令姿勢が到達され得るようにアクチュエータ 21、22、23 が手持ち部分 16 に対してツール支持体 18 を動かすことを可能な限り確実にするように、各アクチュエータ 21、22、23 が出力するトルクを継続的に調節する。

【0211】

手持ち部分-TCP 関係が、動きコントローラ 188 の動き制約ハンドラ 390 に入ると、手持ち部分-TCP 関係は、作業空間制約及び運動学的動き制約を計算するために使用される。これらの制約は、指令姿勢の直交座標系において、手持ち部分と TCP の間の関係を使用して、計算される。作業空間制約及び運動学的動き制約が算出されると、動き制約ハンドラ 390 からのデータは、挙動コントローラ 186 に戻され、制約ソルバ 384 に転送される。

10

【0212】

手持ち部分から TCP へのデータもまた、逆運動学算出を用いて変換される。逆運動学修正が実行され、指令関節位置のセットに帰着した後、関節限界制約及び関節センタリング制約を計算するために、このデータが更に処理される。これらの制約は、関節空間において計算される。関節限界制約は、各アクチュエータの以前の指令関節位置又は測定された関節位置、1次元関節限界制約を仮想シミュレーションのために利用される座標系にマッピング（例えば関節の動きと仮想質量座標系 VM との間で）する制約ヤコビアン Jp、及び 1 つ以上の限界位置に基づいて、算出されてもよい。関節センタリング制約は、1次元関節センタリング制約を仮想シミュレーションのために利用される座標系にマッピング（例えば関節の動きと仮想質量座標系 VM との間）する制約ヤコビアン Jp、以前の指令関節位置又は測定された関節位置、及び関節センタリング位置に基づいて、算出される。関節限界制約及び関節センタリング制約が算出されると、そのデータは、挙動コントローラ 186 内の制約ソルバ 189 に送り返される。

20

【0213】

さらに、逆運動学データ変換は、アクチュエータのそれぞれについて、指令関節位置（Joint Pos Cmd）及び関節速度指令（Joint Vel Cmd）を生成し、処理されたデータを関節位置-速度コントローラ（各アクチュエータに 1 つ）及び駆動指令ハンドラ 192 に送信して、関節移動速度オーバーライドを決定するために処理されるようにする。

30

【0214】

動きコントローラ 188 は、各アクチュエータの指令位置を駆動指令ハンドラ 192 に送信し、該駆動指令ハンドラは、駆動指令ハンドラ 192 において、駆動モータ M へのオーバーライドが必要か否か（関節位置速度オーバーライドとして識別されるボックスを参照）を決定するために、各アクチュエータの 1 つ以上の指令位置又は測定された位置とそれぞれの関節閾値とを比較してもよい。言い換えれば、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を決定すると、複数のアクチュエータツールの 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、1 つの値、又は或る範囲の外側境界線を定義する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

40

50

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ー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を作動させる及び／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ー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ーライドは変更されない。

10

20

30

40

50

【0215】

いくつかの例では、駆動モータオーバーライドは、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ーライドの例では、これにより、関節位置がそのモータオーバー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ー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ーライド閾値）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ーライド閾値と複数の上限モータオーバー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ー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が作動する及び／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ーライド制限値は、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、モータオーバーライド制限値は、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、モータオーバー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。

【0216】

関節位置速度コントローラ194は、動きコントローラ188からのデータを処理し、指令関節位置指令（Joint Pos Cmd）及び関節速度指令（Joint Vel Cmd）を処理して、アクチュエータのそれぞれについて関節トルク指令（Joint Torque Cmd）を決定するために使用される。関節トルク指令の算出は、PID制御のような閉ループ制御アルゴリズムを通して行われてもよい。関節トルク指令は、外科用器具に送信され、そこで、各アクチュエータに対応する電流コントローラのそれぞれが、関節トルク指令を電流へと解釈する。そして、電流コントローラは、指令電流を駆動するために必要とされる電圧を各アクチュエータモータに選択的に印加し、各アクチュエータが指令位置に向けてツール支持体を動かすようにする。印加されたトルク（又は電流）は、アクチュエータのそれぞれを対応する方向に動かし加速させてもよい。アクチュエータが動く／加速する移動量及び速度は、機械的負荷、摩擦、その他の外部要因、又

はこれらの組合せに依存し得る。アクチュエータ位置のフィードバックのそれぞれを時間とともにモニタリングすることにより、各アクチュエータの指令位置が厳密に追跡されるように、指令トルク（電流）が位置－速度コントローラによって調節される。アクチュエータモータがツール支持体を調節するとき、各モータエンコーダは、各ロータについての回転及び／又は位置データを収集し、関節位置データを電流コントローラに送り返す。そして、電流コントローラは、各アクチュエータの関節位置データを関節速度測定値（Joint Vel Meas）及び関節位置測定値（Joint Pos Meas）へと処理し、関節速度測定データ及び関節位置測定データを関節位置－速度コントローラを通して動きコントローラ188に送信する。そして、動きコントローラ188は、各アクチュエータの関節位置及び速度測定データを、順運動学を用いて変換して、TCPと手持ち部16との間の姿勢及び速度の関係を生成する。そして、手持ち部分－TCPの関係は、制約生成器384に送信され、該生成器が様々な仮想制約の生成のためにこのデータを利用できるようにする。

10

【0217】

これに加えて、図31を参照すると、関節速度測定及び関節位置測定は、PID制御ループにおいて使用されてもよい。例えば、PIDループは、関節の指令位置と関節の測定された位置との間の誤差を計算してもよく、これは関節の指令速度を制御するためにPIDループとともに使用されてもよい。関節の指令速度は、誤差を決定するために関節の測定された速度と比較されてもよい。その誤差は、指令電流を制御するために、PIDループにおいて使用されてもよい。指令電流は、誤差を決定するために、測定された電流と比較されてもよい。その誤差は、指令関節電圧を出力するために、PIDループにおいて使用されてもよい。

20

【0218】

駆動指令ハンドラ192は、駆動モータM（図17C）を制御するための特定のパラメータを算出し決定する制御システムの一部である。駆動指令ハンドラ192は、駆動モータMを作動させるために、1つ以上の入力デバイスから入力指令信号を受信する。図17Eに見られるように、入力デバイスの一例は、器具の手持ち部分におけるトリガである。また、同様に図17Eに示されている別の例は、フットスイッチである。別の例においては、駆動指令ハンドラは、複数のユーザ入力デバイス（ボタン、トリガ及びフットスイッチのような）間で多重化するために使用され得る、トリガソースセレクトを有する。いくつかの例においては、トリガソースセレクトは、両方の入力デバイスが非アクティブであるときにのみトリガソースの変化を評価し、そして、どの入力デバイスが最初にアクティブになるかを評価する。そして、選択された入力デバイスは、アクティブなトリガの割合を決定してもよい。他の例においては、潜在的に一方の入力デバイスが他のデバイスより高い優先順位を有し得る。入力デバイスのうちの1つ以上が作動させられると、指令信号が駆動指令ハンドラ192に送信され、そして、該駆動指令ハンドラ192は、入力デバイスが作動させられた割合（例えばユーザによってトリガがどの程度押し込まれたか）を分析する。駆動指令ハンドラ192は、臨床アプリケーションの骨準備部分から出力される最大許容速度でコマンド割合を分析し、受信されたデータに従って指令信号を変更する。

30

40

【0219】

駆動指令ハンドラ192はまた、制約生成器384又は制御システムの他の構成要素内で実行される衝突検出からの結果を利用してもよい。図示された構成においては、制約生成器384は、ツールの位置及び／又は向きを境界と比較する。具体的には、以上に説明されたように、衝突検出は、ツールが境界を閾値量よりも大きく侵犯しているか否かを決定する。さらに、衝突検出ステップは、この位置情報を処理して、境界速度オーバーライド信号を決定する。上述したように、遠位境界又は側方境界のような、任意の数の適切な境界が、この衝突検出ステップのために使用され得る。境界はまた、ツールと骨上の基準位置との間の距離として実装されてもよい。この比較に基づいて、器具コントローラ28は、駆動モータMを減速させる又は停止させるために使用され得るモータパラメータを変更

50

してもよい。

【0220】

この例においては、レイキャスティング又はボクセルルックアップのような技術を使用した、別個のグローバルな内側／外側チェックが、ツール20が完全に境界を越えているか否かを決定する。境界に対する駆動モータ制御は、ツールが境界と接触している場合について、上記で計算された侵入深さを使用して、刃のいずれかの部分が閾値よりも大きく侵入しているか否かを判断してもよいことは、理解されるべきである。ツール20が離散的な幾何学的プリミティブ（例えば球）を用いてモデル化されている例においては、内側／外側チェックは、これらの球のいずれかが境界を越えて位置しているか否かを評価することとなる。制御システム60が、ツール20が境界を越えているか否かを評価すると、10
制約が生成され、ツールが境界を侵犯するのを防ぐ態様でツール支持姿勢が更新されてもよい。しかしながら、関節限界が到達された後に、ユーザが境界を越えてツールを動かし続けた場合、手持ち部分16を速く動かしすぎた場合、骨が速く動きすぎた場合、又はツール20の制御されていない自由度において境界を越えて進んだ場合には、境界が侵犯されることとなり得る。この例においては、グローバルな内側／外側チェックが失敗し、駆動モータMがオフにされるか、又は以上に説明されたように変更され得る。

【0221】

境界速度オーバーライド及び関節位置速度オーバーライドの機能に加えて、指令信号は、誤差処理オーバーライド条件が満たされているか否か（指令が正常処理についての予想範囲内か否か）を判断するために送られる。誤差ハンドリング条件も満たされている場合、駆動速度指令が駆動指令ハンドラ192から駆動速度コントローラに送信される。20

【0222】

境界速度オーバーライド（境界に基づいてドライバモータの速度を制御する）、関節位置速度オーバーライド（アクチュエータ位置に基づいてドライバモータの速度を制御する）、及び誤差処理オーバーライドは、全てが同時にアクティブとなり、それぞれ部分的なオーバーライドを提供してもよいことは、理解されるべきである。例えば、境界速度オーバーライドは、速度を10%だけ低下させ、すなわち入力を0.9倍し、そして、次のブロックが、速度を更に20%だけ低下させ、すなわちその（既に低下させられた）入力を0.8倍してもよく、この場合、結果の出力速度は、元の要求された速度指令の $0.9 \times 0.8 = 0.72$ 倍である。言い換えれば、各ブロックにより適用されるオーバーライドの倍率（入力から出力へのゲイン）は、他のオーバーライドブロックが決定したものに依存しない。この（カスケード式乗算）手法に加えて、最も制限的なオーバーライドのみを使用すること等のような、複数のオーバーライドソースを組み合わせるための、他の方法もあり得る。30

【0223】

駆動速度コントローラは、駆動速度指令信号を処理し、ハンドピース内の電流コントローラに送信される駆動トルク指令を決定する。電流コントローラは、この駆動トルク指令を指令電流に変換し、指令電流を駆動するために必要とされる電圧を駆動モータMに選択的に印加して、ツールを動作（例えば切断）させる。駆動モータエンコーダは、駆動モータの作動をモニタリングし、駆動モータの動作に関するエンコーダ信号を、器具内の電流コントローラを通して送り返す。電流コントローラは、エンコーダデータを駆動速度測定値に変換し、変換されたフィードバックデータを駆動速度コントローラに送信する。40

【0224】

図17A～図17Cに示されるように、制約生成器384への2つの入力は、現在の状態（ローカライザデータ、運動学データ）及び目標状態（ローカライザトラッカに対する切断面）を含む。制約生成器384は、ツール20についての目標状態を取得し、目標状態及び手持ち部分の現在の状態に基づいて、1つ以上のガイド制約を生成する。以前の指令姿勢CPは、ツール20の現在の姿勢に相関しているので、現在の状態は、以前の指令姿勢CPに基づいて定義されてもよい。目標状態は、解剖学的座標系、又は解剖学的構造トラッカ座標系等において定義され、現在の状態と共通の座標系に変換されてもよい。制約生成器384への他の入力は、ガイド制約についての構成パラメータ及び調整パラメー50

タを含む。制約生成器 384 は、現在の状態と目標状態との関係、並びに構成パラメータ及び調整パラメータに基づいて、1つ以上のガイド制約を定義する。ガイド制約は、制約生成器 384 から制約ソルバ 189 に出力される。

【0225】

限定するものではないが、ガイド制約、関節限界制約、関節センタリング制約、運動学的動き制約、境界制約、及び外部感知力のような他の入力を含む、様々な仮想制約が、制約ソルバ 189 に供給されてもよい。これらの制約は、制御システム 60 によってオン／オフされてもよい。例えば、いくつかの場合においては、関節センタリング制約も境界制約も生成されないことがあり得る。同様に、いくつかの例においては、及び或る特定の動作モードにおいては、ガイド制約が生成されないことがあり得る。拳動制御部 186 において利用される仮想制約の全ては、ツール 20 の動きに影響を及ぼし得る。

10

【0226】

制約ソルバ 189 は、制約ソルバ 189 に供給された仮想制約に基づいて、仮想シミュレータ 388 においてツール 20 に仮想的に適用されるべき制約力 F_c を算出する。ガイド制約がアクティブである場合、制約力 F_c は、1つ以上の仮想制約に基づいて、現在の状態から目標状態に向けてツール 20 を動かすよう適合された力及び／又はトルクの成分を含む。ガイド制約のみが制約ソルバ 189 に入力される場合、制約力 F_c は、ガイド制約を満たすように計算された仮想力であると考えられる。しかしながら、境界制約、関節センタリング制約、及び／又は関節限界制約のような他の制約が利用される場合、制約ソルバ 189 は最終的に、それぞれの調整パラメータに基づいて、全ての制約を満たす制約力 F_c の解を可能な限り提供することをタスクとし、他の制約もまた、制約力 F_c の大きさ／方向に影響を与え得る。

20

【0227】

以下に説明されるように、 F_p について解くために、図 26 に示される方程式は、各行が単一の 1 次元制約を表す行列方程式に変換される。制約データは、外力 F_{cgext} 、（適用される場合）減衰力 $F_{damping}$ 、慣性力 $F_{inertial}$ 、仮想質量行列 M 、仮想質量速度 V_{cg1} 、及び時間ステップ Δt （例えば 125 マイクロ秒）のような、制約ソルバ 189 に既知である他の情報とともに、制約方程式内に配置される。その結果の F_p は、制約空間において表現される力ベクトルであり、 F_p の各成分は、制約方程式のその行に対応する制約方向に沿って又はその周りに作用する、スカラーの制約力又はトルクである。

30

【0228】

仮想質量行列 M は、 3×3 の質量行列と慣性行列とを結合したものである。減衰力 $F_{damping}$ 及び慣性力 $F_{inertial}$ は、前の時間ステップで仮想シミュレータ 388 によって出力された仮想質量速度 V_{cg1} （例えば仮想質量座標系 VM の速度）に基づいて、仮想シミュレータ 388 によって算出される。仮想質量速度 V_{cg1} は、線形速度成分及び角速度成分を含む、6 自由度の速度ベクトルである。減衰力 $F_{damping}$ は、仮想質量速度 V_{cg1} 及び減衰係数行列（線形係数と回転係数とは等しくない場合がある）の関数として計算される、6 自由度の力／トルクベクトルである。減衰は、安定性を向上させるために仮想質量に適用される。慣性力 $F_{inertial}$ もまた、仮想質量速度 V_{cg1} 及び仮想質量行列 M の関数として計算される、6 自由度の力／トルクベクトルである。減衰力 $F_{damping}$ 及び慣性力 $F_{inertial}$ 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 Bowlingらに対する米国特許第 9,566,122 号に記載された態様で決定されてもよい。

40

【0229】

制約ソルバ 189 は、連立方程式を満たす（例えば様々な制約を満たす）解を提供するために、この制約連立方程式を解くための任意の適切なアルゴリズム命令（例えば、反復的な制約ソルバ（an iterative constraint solver）、投影ガウス－サイデル法ソルバ（Projected Gauss-Seidel solver）など）を用いて構成されてもよい。いくつかの場合においては、全ての制約条件が、同時に満たされないこともあり得る。例えば、動

50

きが様々な制約によって過剰に制約されている場合、制約ソルバ 189 は、本質的に、所与の様々な制約の相対的な硬直性／減衰に対して「最適」解を見出すこととなる。制約ソルバ 189 は、連立方程式を解き、最終的に制約力 F_c を出力する。

【0230】

投影ガウス－サイデル法ソルバが利用される場合、制約ソルバ 189 は、制約に基づいて A 及び b 行列を構築し、投影ガウス－サイデル法を使用して連立方程式を解いてその結果の力ベクトル F_p を求め、投影ガウス－サイデル法の出力をとり、制約の完全なセットに対する集約制約ヤコビアン J_p を使用して、該出力を制約空間から仮想質量座標系 VM に変形する。例えば、式 $F_c = J_p \cdot T \cdot F_p$ を使用し、ここで F_c は制約力であり、 F_p の成分の集約作用は、仮想質量座標系 VM に適用される力／トルクベクトル F_c に変換される。

10

【0231】

複数の制約の連立方程式を解くために投影ガウス－サイデル法を使用する方法は、例えば、http://www.mft-spirit.nl/files/MTamis_ConstraintBasedPhysicsSolver.pdfに見出される Marijn Tamis 及び Giuseppe Maggiore による 2015 年 6 月 15 日付けの「Constraint based physics solver」(v1.02)、又は、http://www.mft-spirit.nl/files/MTamis_PGS_SI_Comparison.pdfに見出される Marijn Tamis による、2015 年 7 月 1 日付けの「Comparison between Projected Gauss-Seidel and Sequential Impulse Solvers for Real-Time Physics Simulations」(v1.01) に示されており、これらはいずれもその全体が引用することにより本明細書の一部をなすものとする。

20

【0232】

投影ガウス－サイデル法は、線形相補性問題 (LCP) に対処する。いくつかの制約タイプ (例えば、境界制約、関節限界制約及び作業空間限界制約のような一面的な制約) は、例えば正の制約力のように、1 方向にしか押す (力を加える) ことができないので、LCP に関連する不均等が発生する。かかる制約のために算出された力が、制約ソルバ 189 の所与の反復について負 (又は、より広義には、その許容範囲外) であり、無効である場合には、所与の制約は、適切な結果 (すなわち収束) が見出されるまで、切り捨てられ (又はその上方又は下方の許容値において交互に制限／キャップされ)、残りの制約が解かれる必要がある。このようにして、制約ソルバ 189 は、所与の時間ステップについての制約のアクティブなセットを決定し、そしてその値について解く。他の制約タイプは、正と負の両方の方向に力を加えることができ、例えば、二面的な制約である。かかる制約は、ガイド制約、関節センタリング制約、及び運動学的動き制約を含む。かかる二面的な制約は、有効にされると、通常はアクティブであり、制約ソルバ 189 の反復の間に切り捨てられる／制限されることはない。

30

【0233】

制約ソルバ 189 によって算出された制約力 F_c は、 VM 座標系の x 軸、 y 軸、 z 軸に沿った力の 3 つの成分と、 VM 座標系の x 軸、 y 軸、 z 軸の周りのトルクの 3 つの成分を含む。仮想シミュレータ 388 は、その仮想シミュレーションにおいて、外力 F_{cgext} (使用される場合)、減衰力 $F_{damping}$ 、及び慣性力 $F_{inertial}$ (これらは全て力／トルクの 6 つの成分を含み得る) とともに、制約力 F_c を利用する。いくつかの場合においては、力／トルクのこれらの成分は、最初に共通の座標系 (例えば仮想質量座標系 VM) に変換され、そして、合計されて合計力 F_T を定義する。その結果の 6 自由度の力 (すなわち力及びトルク) は、仮想剛体に適用され、その結果の動きは、仮想シミュレータ 388 によって算出される。仮想シミュレータ 388 はかくして、数ある中でも (例えば外力)、様々な制約が仮想剛体の動きにどのように影響するかを効果的にシミュレートするよう機能する。仮想シミュレータ 388 は、仮想剛体に適用される所与の合計力 F_T に基づいて、その結果の仮想剛体の 6 自由度の姿勢及び速度を算出するために、順動力学を実行する。一例においては、仮想シミュレータ 388 は、前述のコントローラ 28、36 のうちのいずれか 1 つ以上の非一時的なメモリに記憶され、制御システム 60

40

50

によって実装される実行可能なソフトウェアである、物理エンジンを含む。

【0234】

仮想シミュレーションについては、仮想シミュレータ388は、仮想質量座標系VMの原点を仮想剛体の質量中心に位置させ、座標軸を仮想剛体の主軸に位置合わせした状態で、ツール20を仮想質量座標系VMにおいて仮想剛体としてモデル化する。仮想剛体は、動的オブジェクトであり、仮想シミュレーションの目的のためのツール20の剛体表現である。仮想剛体は、仮想シミュレーションに従って、直交空間における6自由度(6-DOF)に従って自由に動くことができる。仮想シミュレーションは、視覚的又はグラフィカルな表現なしに、計算的に処理されてもよい。かくして、仮想シミュレーションが仮想剛体の動力学を表示することは、必要とされない。言い換えれば、仮想剛体は、処理ユニット上で実行されるグラフィックスアプリケーション内でモデル化される必要はない。仮想剛体は、仮想シミュレーションのためにのみ存在してもよい。

10

【0235】

仮想剛体及びその特性(質量、慣性行列、質量中心、主軸等)は、適用される力及びトルク(例えば、任意に仮想力及びトルクを用いてユーザによって適用される力及びトルクを組み込んだ合計力 F_T からのもの)に応答してツール20がどのように動くかを定義する。これは、現在の条件に応答して、ツール20がどのように動くか(例えば、並進及び回転において加速する)を支配する。仮想剛体の特性を調節することにより、制御システム60は、ツール20がどのように反応するかを調節することができる。可能な限り現実的な動きのために、仮想剛体の特性が、ツール20の実際の特性に適度に近くなるようにモデル化されることが望ましいこととなり得るが、このことは必須ではない。制御安定性の理由(アクチュエータアセンブリの有限の加速度、制御待ち時間等を考慮して)のために、仮想質量及び慣性が、器具のものよりも幾分高くなるようにモデル化されてもよい。

20

【0236】

仮想剛体は、ツール20上又はツール20内にあり得る構成要素に対応してもよい。これに加えて又は代替として、仮想剛体は、部分的に、物理的なツール20を越えて延在してもよい。仮想剛体は、ツール支持体18を有するツール20を考慮に入れてもよいし、又はツール支持体18を有さないツール20を考慮に入れてもよい。さらに、仮想剛体は、TCPに基づくものであってもよい。一例においては、仮想剛体の質量中心は、仮想剛体の別の点に仮想力が加えられ、仮想剛体が他の制約を受けない場合に、仮想剛体とその周りに回転するであろう点として理解される。仮想剛体の質量中心は、ツール20の実際の質量中心に近くてもよいが、同じである必要はない。仮想剛体の質量中心は、経験的に決定され得る。ツール20がツール支持体18に取り付けられると、質量中心の位置は、個々の施術者の好みに合うように再設定されてもよい。仮想シミュレーションにおいて外力が使用されないいくつかの例においては、かかる場合については仮想シミュレーションが実世界から測定される物理力と相互作用しないので、仮想質量の正確な数値特性及び単位(例えば、質量中心位置、質量、慣性行列)は、幾分任意のものとなる。かかる場合においては、計算の簡単さのため、単に仮想質量をTCPに配置し、質量を1に設定し、慣性行列を単位行列に設定することが望ましいこととなり得る。他の選択肢も可能であるが、物理的に妥当な単位での制約の調整を可能とするため、所望であれば、仮想剛体についてより現実的な特性が設定されてもよい。いずれの場合においても、制約調整パラメータは、仮想質量に対して選択された特性を考慮に入れるべきである。

30

40

【0237】

仮想シミュレータ388は、仮想シミュレーションにおいて仮想剛体に力及び／又はトルクを仮想的に加えることによって、すなわち、仮想質量座標系VMにおいて仮想剛体の質量中心における合計力 F_T から力及びトルクの成分を仮想的に加えることによって、ツール20の剛体の動力学を効果的にシミュレートする。かくして、仮想剛体に仮想的に加えらる力／トルクは、外力 F_{cgext} (例えば1つ以上のセンサからの入力に基づくものであってもよい)、減衰力 $F_{damping}$ 、慣性力 $F_{inertial}$ 、及び／又は(制約力 F_c において具現化されていることによる)様々な制約に関連する制約力 F_c か

50

らの力／トルクに関連する、力／トルクを含んでもよい。

【0238】

剛体のヤコビアンは、同じ仮想剛体上である座標系（基準フレーム）から別の座標系に速度及び力を変換するために使用され得て、 F_{ext} の力及びトルクを仮想質量座標系 VM に同様に変換するために（例えば制約方程式において使用される F_{cgext} を導出するために）ここで利用されてもよい。そして、仮想シミュレータ388は、減衰力 $F_{damping}$ 及び慣性力 $F_{inertial}$ を内部的に算出し、また、次の時間ステップにおけるその連立方程式における制約ソルバ189による使用のために、減衰力 $F_{damping}$ 及び慣性力 $F_{inertial}$ を出力する。使用される場合、 F_{ext} もまた、制約ソルバに供給されてもよい。そして、これらの力が合計され、制約力とともに入力されて、合計の算出を得てもよい。

10

【0239】

合計力 F_T の適用時に動くときの仮想剛体の動きをシミュレートするために、図26及び図27に示されるような仮想順動力学アルゴリズムが、仮想シミュレーションにおいて利用されてもよい。事実上、仮想順動力学アルゴリズムは、6自由度で式 $F=ma$ （又は $a=F/m$ ）を解き、加速度を積分して速度を導出し、そして、これが再び積分されて新しい姿勢を決定するものであり、詳細は図27に示されている。制御システム60は、仮想力及び／又はトルク（例えば合計力 F_T ）を仮想シミュレータ388に入力し、これらの仮想力及び／又はトルクは、仮想剛体が初期速度を有する初期姿勢にあるときに、仮想シミュレーション388における質量中心（例えば CG ）において仮想剛体に加えられる。仮想剛体は、制御システム60が入力された仮想力及び／又はトルクを満たすことに応答して、直交空間内で異なる状態（すなわち位置及び／又は向き）を有し最終速度を有する最終姿勢へと動かされる。器具コントローラ28に送信されるべき次の指令姿勢 CP は、仮想シミュレータ388によって算出された最終姿勢に基づくものである。かくして、仮想シミュレータ388は、図27に示されるように、仮想順動力学を使用して、仮想剛体に合計力 F_T を加える効果をシミュレートすることにより、次の指令姿勢 CP を決定するように動作する。

20

【0240】

仮想シミュレーションは6自由度で行われるが、アクチュエータアセンブリは、3自由度のような、6未満の自由度で制御可能であってもよいことに留意されたい。かかる状況においては、運動学的動き制約は、シミュレーションが有意義に実施され得るように（すなわち VM 座標系を物理ツールに位置合わせし続けるように）、制御されない自由度を制約するために使用されてもよい。

30

【0241】

速度限界が、シミュレーションにおいて仮想剛体に課せられてもよい。いくつかの場合においては、速度限界は、一般的にシミュレーションに影響を与えないように高く設定されてもよいし、又は任意の所望の値に設定されてもよい。いくつかの場合においては、速度限界は、仮想剛体に加えられるべき減衰力を非線形的に計算することによって実装されてもよく、このとき、減衰の量は、閾値速度を超えるとかなり増大する。仮想剛体は、仮想シミュレーションの各反復（例えば各時間ステップ／間隔 dt ）の開始時において、初期姿勢（初期状態）にあり、初期速度を有する。初期姿勢及び初期速度は、前の時間ステップで仮想シミュレータ388によって出力された最終姿勢及び最終速度として定義されてもよい。

40

【0242】

その後、仮想シミュレータ388は、その仮想シミュレーションに基づいて、次の指令姿勢 CP を算出し出力する。この実施態様においては、制御システム60は、指令姿勢 CP に基づいてツール20を動かすようにツール支持体18に指令するように構成され、このことは理想的には、ツール20を目標状態にガイドする態様で、かつ他の仮想制約に従って、ツール20の動きを引き起こす。

【0243】

50

図 28 は、動作制御部 186 によって実行される様々なステップをまとめたものである。これらは、以上に説明されたような制約ソルバ 189 及び仮想シミュレータ 388 によって実行されるステップを含む。ステップ 350 において、外力 F_{ext} は、力／トルクセンサ 5 又は代替の感知方法から取得された読み取り値に基づいて（任意に）算出される。ステップ 352 において、様々な仮想制約に関連する制約データが、制約ソルバ 189 に供給される。

【0244】

ステップ 354～358 において、剛体算出が仮想シミュレータ 388 によって実行されて、仮想剛体の逆質量行列 M^{-1} 、慣性力 $F_{inertial}$ 、及び減衰力 $F_{damping}$ を決定する。ステップ 360～364 において、制約ソルバ 189 が、ステップ 354～358 において実行された剛体算出からの出力及びステップ 352 において提供された制約データを利用して、以上に説明された制約力算出を実行し、最終的に制約力 F_c を導出する。ステップ 366 において、制約力 F_c が、仮想質量座標系 VM に変換された外力 F_{ext} (F_{cgext})、減衰力 $F_{damping}$ 、及び慣性力 $F_{inertial}$ と合計され、合計力 F_T を導出する。ステップ 368 において、合計力 F_T が、仮想シミュレータ 388 により実施される仮想シミュレーション中の仮想剛体に加えられて、ステップ 370 において、仮想剛体の新しい姿勢及び速度を決定し、最終的にステップ 372 において、新しい姿勢及び速度を TCP に変換する。新しい指令姿勢と速度 (V_{TCP}) は、ステップ 374 において、仮想シミュレータ 388 によって出力される。

【0245】

（膝での適用）

図 29A～図 29D は、ガイドの適用を示す。この例においては、制御システム 60 は、ガイド制約及び仮想制約をアクティブにして、ツール 20 の TCP を目標姿勢で適所に配置している。ローカライザ $LCLZ$ は、ツールトラック 52 及び患者トラック 54 を検出する。ローカライザ $LCLZ$ は、目標解剖学的構造に対する器具 14 の位置をモニタリングする。臨床アプリケーションは、インプラント計画を使用して、患者トラック 54 に対する目標切断面 TP を決定し、これを制御システムに提供する。特定の切断が選択されると、器具 14 及び患者の解剖学的構造の位置に関連する位置情報を、ローカライザ $LCLZ$ から受信する。制御システム 60 は更に、デバイストラック及び患者トラックの位置と、各アクチュエータ 21、22、23 の関節位置のエンコーダデータとを使用して、患者トラック 54 に対する手持ち部分 16 のベース座標系 BCS の姿勢を決定する。制御システム 60 は、ツール支持体 18 及び鋸刃 20、380 を目標姿勢に向けて動かすこととなる、仮想制約のセットを決定する。この例においては、制御システムは、アクチュエータ 21、22、23 をそれらの動作限界内に維持するために、複数の仮想力のバランスをとりながら、鋸刃 20、380 を目標姿勢 TP に配置しようとする。制御システム 60 は、位置データに基づいていくつかのガイド制約を生成する。ガイド制約は、ツール支持体 18 を目標状態に向けてガイドするために 3 自由度で利用され、すなわち、ガイドされた座標系 GF の原点を目標座標系 TF の原点にガイドするための、目標座標系 TF の z 軸に沿った位置制約と、目標座標系 TF の z 軸と位置合わせするようにガイドされた座標系 GF の z 軸をガイドするための、目標座標系 TF の x 軸、 y 軸の周りの 2 つの向き制約とが利用されている。さらに、アクチュエータ 21、22、23 が移動限界の外の位置に指令されないことを確実にするために、典型的にはガイド制約よりもかなり大きな硬直性を有する関節限界制約が計算される。

【0246】

いくつかの場合においては、1 つのみ、2 つ、3 つ、4 つ又はそれより多いガイド制約が、使用され得る。また、任意の自由度に対して 1 つよりも多いガイド制約が定義される場合のように、7 つ以上のガイド制約が使用され得る。図 29A から図 29D への進行は、説明の目的のために、ガイドされた座標系 GF が 3 自由度で目標座標系 TF と位置合わせされる様子を示している。図 29A から図 29D までの進行において、ツール 20 の TCP が目標状態に向かって（この場合には目標座標系 TF の原点に向かって）動いている

ことが示されている。各時間ステップにおいて、制約力 F_c が算出され、ガイド制約、関節限界制約、作業空間制約、関節センタリング制約、運動学的動き制約、又はこれらの組合せを考慮に入れて、鋸刃 380 を目標状態に向けて理想的に動かす力及びトルクを加えるように、ツール支持体 18 を効果的にガイドする。一例においては、TCP がこの位置にあるとき、ガイド制約及び関節限界制約のみがアクティブである。仮想制約は、それらの調整パラメータが各時間ステップにおいて調節されることにより、動的であってもよい。例えば、現在の状態が目標状態に近づくほど（例えば、ガイドされた座標系 GF が目標座標系 TF に近づくほど）、仮想制約のいくつかは、より強いばね及び／又は減衰特性を有してもよく、他の仮想制約は、より弱いばね及び／又は減衰特性を有してもよい。一例においては、ガイド制約は、現在の状態が目標状態に近づくほど、より強いばね特性及び／又は減衰特性を有する。かくして、制約力 F_c （より強いばね及び／又は減衰特性に相関する力及び／又はトルクの成分を有し得る）は、ガイドされた座標系 GF が目標座標系 TF に近づくにつれて、大きさが増大してもよい。

10

【0247】

一例においては、制御システムは、患者の解剖学的構造のような既知の座標系に対する少なくとも 1 自由度における、鋸刃 380 の目標姿勢を決定する。制御システム 60 はまた、同じ座標系内での、すなわち患者の解剖学的構造に対する、手持ち部分 16 の姿勢を決定する。そして、制御システム 60 は、鋸刃 380 及び手持ち部分 16 の位置情報を処理して、鋸刃 380 の目標姿勢及び手持ち部分 16 の姿勢に基づいて、1 つ以上のガイド制約を算出する。1 つ以上のガイド制約が生成されると、制約力が制御システム 60 によって算出され、仮想シミュレーション内で仮想鋸刃を動かすよう適合される。仮想シミュレーションは、制約力に基づいて仮想鋸刃の動力学をシミュレートし、仮想シミュレーションに基づいて指令姿勢を算出する。指令姿勢は、仮想シミュレーションから出力され、アクチュエータ 21、22、23 のそれぞれの指令関節位置を決定するために使用される。制御システム 60 は、指令関節位置信号を各アクチュエータ 21、22、23 に転送し、アクチュエータ 21、22、23 を通電して、ツール支持体 18 及び鋸刃 380 を目標姿勢へと動かす。

20

【0248】

図 18～図 20 は、ツール 20（例えば鋸刃 380 を有する）を目標状態に配置する際に使用される、ガイドの別の例を示す。この例においては、制御システム 60 は、ガイド及び関連するガイド制約をアクティブにして、膝関節全置換術のための所望の切断面 73c に対して位置する少なくとも 1 自由度で目標姿勢にツール 20 の TCP を配置する際にユーザを補助し、このことは、ツール 20 を所望の切断面 73c に位置合わせする目標向き及び仰角に TCP を配置することを含んでいる。この場合においては、目標座標系 TF の原点は、刃厚さを考慮するために、所望の切断面 73c から刃厚さの少なくとも半分だけオフセットされる。少なくとも 1 つのガイド制約が算出され、ツール支持体 18 を目標姿勢に向けて移動させるために少なくとも 1 自由度で利用される。一例においては、鋸刃を目標状態へと動かすために、3 つのガイド制約が 3 自由度で利用され、すなわち、目標座標系 TF の z 軸に沿った 1 つの位置制約と、目標座標系 TF の x、y 軸の周りの 2 つの向き制約とが利用される。

30

40

【0249】

各時間ステップにおいて、制約力 F_c が算出され、アクティブな仮想制約（例えばガイド制約、関節限界制約、関節センタリング制約、運動学的動き制約、及び／又は作業空間制約）を考慮に入れて、鋸刃 380 を目標状態に向けて理想的に動かす力及びトルクを加えるようにツール支持体 18 を効果的にガイドする。仮想制約は、それらの調整パラメータが各時間ステップにおいて調節されることにより、動的であってもよい。図 20 を参照すると、例えば、ガイド制約は、現在の状態が目標状態に近づくほど（例えば、ガイドされた座標系 GF が、x 軸方向において目標座標系 TF に近づくほど（x 距離を参照））、より大きな硬直性を有してもよい。かくして、図 20 を参照すると、ガイド制約についての調整パラメータに関連する硬直性は、x 距離が減少するにつれて、大きさが増大しても

50

よい。

【0250】

所望の切断面に対するツール20の位置合わせは、例えば、全膝関節インプラントのための余裕をつくるために、大腿骨及び／又は脛骨に沿って正確な切断を行う際にユーザを補助する。再び図13を参照すると、ガイド制約は、大腿骨に必要とされ得る5つの目標切断面TPである73A～73Eのそれぞれにツール20を位置合わせするために使用され得る。ガイド制約は、同様に、刃が目標状態に維持されるように、切断処理の間、アクティブなままであってもよい。

【0251】

ガイド制約計算はまた、ツール駆動モータMを制御するために使用することができる。制御システム60は、複数のアクチュエータ21、22、23のそれぞれに対する指令された関節位置を決定する目的でガイド制約を既に計算しているので、こうした実施態様は、制御システム60の計算負荷を軽減することができる。上述のように、ガイド制約は、少なくとも1つのガイド制約方向と、各ガイド制約方向に沿って測定された少なくとも1つのガイド制約誤差とを含む。制御システム60は、ガイド制約方向及びガイド制約誤差に基づいて、ツール駆動モータMを制御することができる。

【0252】

上述したように、各ガイド制約は、目標座標系のx軸、y軸、又はz軸に沿って又はその周りに定義される方向を有する。制御システム60は、ツール駆動モータMを制御するために、6つよりも少ないガイド制約を利用することができる。例えば、制御システム60は、ツール駆動モータMを制御するために、正確に2つ、又は3つのみのガイド制約を使用することができる。これは、仰角等の並進自由度についての1つのガイド制約と、ピッチ及びロール等の向き自由度についての2つのガイド制約とを含み得る。

【0253】

制御システム60は、選択された自由度におけるガイド制約誤差を利用して、ツール駆動モータMを制御することができ、これは、上記で制約距離 Δd と称され、 Δd は、TFによって定義された適用可能な制約方向に沿って、又はその周りで、ガイドフレームGFが目標フレームTFにどれだけ近いかがあり、制約が違反されているかどうかを示す。

【0254】

制御システム60は、ガイド制約誤差に加えて、ガイド制約誤差閾値に基づいて駆動モータMを制御することができる。制御システム60は、ピッチ及び／又はロール自由度についてのガイド制約誤差閾値とは異なる、仰角自由度のガイド制約誤差閾値等の、各自由度についての異なるガイド制約誤差閾値を利用することができる。これは、様々な自由度における目標平面TP及び／又は軸からの偏差に対するより大きな公差を表すことができる。

【0255】

ガイド制約誤差閾値は、値の許容誤差範囲として表現され得る。いくつかの例では、許容誤差範囲は、 $-0.5 \sim 0.5$ （並進ガイド制約誤差閾値）又は $-5 \sim 5$ （向きガイド制約誤差閾値）であり得る。いくつかの実施態様では、誤差範囲は、非対称、例えば、0の中央値を中心として非対称である。例えば、並進ガイド制約誤差閾値は、 $-0.3 \sim 0.5$ であり得る。これは、選択された自由度の方向のうちの1つにおいて、他の方向よりも大きな公差を表すことができる。例えば、仰角自由度に関して、 $-0.3 \sim 0.5$ の範囲は、（骨の中への）切断面の下方よりも目標切断面の上方の誤差に関するより大きい公差を表すことができる。しかしながら、他の非対称範囲も企図される。

【0256】

制御システム60は、ガイド制約誤差又は他の誤差値が、駆動モータMを減速させる、又は駆動モータMを停止させる等、選択された自由度のいずれかに対する閾値又は範囲を超えると、駆動モータMのモータパラメータを変化させることができる。この状況は、鋸刃20が、設定された誤差範囲等の設定された閾値を超える許容量（角度及び／又は距離）を超えて、1以上の自由度で目標平面TPから逸脱するときに発生し得る。

【0257】

制御システム60は更に、ガイド制約誤差範囲等の適切なガイド制約誤差閾値を考慮するとき、駆動モータMのステータスを考慮することができる。例えば、制御システム60は、駆動モータMが許容状態にあるときに第1のガイド制約誤差範囲を選択し、駆動モータMが制限状態にあるときに第2のガイド制約誤差範囲を選択することができ、第1のガイド制約誤差範囲は第2のガイド制約誤差範囲とは異なる。制御システム60は、最終的に、選択されたガイド制約誤差閾値及びガイド制約誤差に基づいて、ツール駆動モータMを制御することができる。これにより、誤差値が誤差範囲の外側境界に近いときに、駆動モータがオン及びオフを繰り返すことを防止することができる。

【0258】

ガイド制約誤差が駆動モータを制御するために使用され得ることが上記で説明されたが、代替の誤差計算も使用され得る。こうした場合、制御システムは、少なくとも1自由度において、外科用ツールの状態と外科用ツールの目標姿勢との間の誤差値を決定し、ガイド制約ベースの駆動モータ制御に関して説明されるものと類似様式において、誤差閾値及び誤差値に基づいて、ツール駆動モータを制御するように構成されるであろう。こうした実施態様は、ロボットシステムが手持ち式ロボットシステムを制御するガイド制約を利用しないときに有用であり得る。駆動モータのガイド制約制御に関して上述したように、制御システムは、外科用ツールの以前に指令された姿勢等の外科用ツールの目標姿勢及び外科用ツールの姿勢と、それらの自由度のそれぞれに対する誤差閾値とに基づいて、複数の自由度における誤差値を決定するように構成され得る。制御システムは、誤差値が第1の自由度における閾値を超えるとときにモータを減速又は停止させることができ、又は制御システムは、誤差値が第2の自由度における異なる閾値を超えるとときにモータを減速又は停止させることができる。ガイド制約の誤差計算と同様に、制御は、外科用ツールの状態と外科用ツールの目標姿勢との間の誤差に基づいて、駆動モータを制御する適切な誤差範囲を選択する際に、モータステータスを利用することができる。

【0259】

駆動モータを制御するこの手法は、複数の利点を有することができる。主に、この制御手法は、刃が平面に近接したままである限り、すなわち、1以上の自由度における誤差閾値内である限り、ユーザにより大きい柔軟性を提供し、ユーザは、駆動モータを遮断させることなく、刃／ツールプラットフォームに対してより多くの向き／位置に手持ち部分を位置決めすることが可能である。この許容される柔軟性は、邪魔になり得る患者トラッカ、開創器、又は患者の解剖学的構造の部分等の、ユーザの手が遭遇し得る障害物にも関わらず切断を継続するために、多数の方法で手持ち部分を位置決めする能力をユーザに提供する。さらに、制御システムは、鋸刃が切断中である間、複数のアクチュエータを制御し続けるので、システムは、目標平面の正確な切断を提供する。切断される骨の部分は比較的柔らかい場合があり、鋸刃等のツールは切断プロセス中に屈曲する場合があるので、刃が切断部にある間の制御システムによる複数のアクチュエータの継続制御は、この屈曲及び／又は軟骨切除中の刃の位置及び／又は向きの多数の軽微な補正に起因して、刃が切断部を通過して進むにつれて誤差が蓄積するのを防止することができる。さらに、刃が切断中である間、複数のアクチュエータを目標平面に位置合わせするように制御し続けることによって、制御システムは、以前に刃を定位置に制約していた骨の部分の存在によって刃がもはや制約されないため、骨の部分が最終的に除去されるときに誤差を防止する。

【0260】

アクチュエータ位置に基づいて駆動モータを制御することとは対照的に、目標姿勢とツールの姿勢との間の誤差に基づいて駆動モータを制御することによって、制御システムは、アクチュエータのうちの1つ以上が可動域限界、すなわち、関節限界に到達したときに、切除を可能にし続けるであろう。より具体的には、制御システムのこの実施態様では、制御システムは、複数のアクチュエータのうちの1つ以上の位置がそのアクチュエータの関節限界と一致するときに、鋸駆動モータが動作することを許容する。これは、アクチュエータがもはや鋸刃を1以上の自由度で再位置決めすることができない場合であっても、

10

20

30

40

50

駆動モータの動作を継続する能力をもたらし、したがって、器具が、手持ち部分の位置にかかわらず、骨を切除し続けることを可能にする。しかしながら、上述したように、刃が1以上の自由度で平面から離れすぎている場合、制御システムは停止する。この実施態様は、複数のアクチュエータのうちの1つ以上のアクチュエータの位置がそのアクチュエータの関節限界と一致するときに、鋸駆動モータが動作することを許容する。許容するステップは、複数のアクチュエータのうちの1つ以上の位置を考慮せずに鋸駆動モータが動作することを許容することとして更に定義されてもよい。アクチュエータの位置は、測定位置、指令位置、以前の測定位置、又は以前の指令位置であり得る。他の制御論理が、この制御手法と組み合わせて適用され、鋸刃が遠位境界に違反するときにツール駆動モータを制御し、ツールが骨から離れているときにツール駆動モータを制御し、及び／又は1以上の自由度における誤差及び誤差閾値に基づいてツール駆動モータを制御する等、ツール駆動モータを制御することができる。

10

【0261】

さらに、仮想境界184が、駆動モータMの動作を制御するために任意に利用されてもよい。駆動モータMが作動させられ、切断の間に鋸刃380を振動させると、駆動モータMへの作動信号は、仮想境界184に対する鋸刃380の状態に基づいて、停止及び／又は変更されてもよい。仮想境界184は、ユーザが患者の解剖学的構造を不適切に切断することを防止することができ、特に、影響を受けることを意図されていない患者の解剖学的構造の一部（例えば靱帯）を鋸刃380が切断することを防止し得る。図18を見ると、鋸刃380が目標切断面に沿って進められると、駆動モータの1つ以上のモータパラメータが制御される。一例においては、モータパラメータは、仮想境界184に対する鋸刃380の位置に基づく、駆動モータの速度（及びかくして鋸刃380の切断速度）である。しかしながら、トルク、動作時間、電流、加速度、又はこれらの組合せのような、他のモータパラメータも企画される。図13に示されるもののような仮想境界は、インプラントを患者の解剖学的構造にフィットさせるために、ユーザがどの切断を行おうとしているかに依存して、特定の切断の終点に対応するものである。他の例においては、仮想境界184は、以上に説明されたように、メッシュ、点、平面、又はこれらの組合せであってもよい。仮想境界は、解剖学的構造、計画されたインプラント、画像データ等に基づくものであってもよい。鋸刃380が患者の解剖学的構造を通して進行するにつれて、患者トラッカに対する器具14の位置データ、及びそれに続いて目標平面が、リアルタイムで更新される。鋸刃380が仮想境界184に到達すると、モータパラメータ（モータの速度）は、0に設定されてもよいし、又は低減されてもよい。モータパラメータが0の値を有するとき、ユーザが仮想境界184を越えて切断しないように、駆動モータMが停止される。

20

30

【0262】

別の例においては、駆動モータMは、アクチュエータ21、22、23がツール支持体18を調節することができない、少なくとも1つの制御されない自由度において、境界184に対するツールの姿勢に基づいて制御される。制御される自由度は、アクチュエータアセンブリ400によって制御される動きの方向であり、アクチュエータ21、22、23の配置に基づくものである。いくつかの構成においては、アクチュエータアセンブリ400の配置は、6つの制御される自由度、5つの制御される自由度、4つの制御される自由度、3つの制御される自由度、又は少なくとも1つの制御される自由度を提供してもよい。例えば、アクチュエータアセンブリ400は、ピッチ（図3A～図3C）、ロール（図4A～図4C）、及びz軸の並進（手持ち部分16に対する仰角（図5A～図5C））を制御するように配置される。器具14は、これらの動きの方向において、ツール支持体18及びツール20を手持ち部分に対して調節することが可能である。自由度が制御されない場合、アクチュエータ21、22、23は、その特定の方向で調節することができない。例えば、いくつかの構成においては、アクチュエータ21、22、23は、ピッチ、ロール及びz軸の並進（手持ち部分16に対する仰角）を制御するように配置されているので、ツール支持体18のヨーは調節され得ない。別の例としては、アクチュエータ21

40

50

、 2 2、 2 3 が、ピッチ、ロール及び z 軸の並進（手持ち部分 1 6 に対する仰角）を制御するように配置されている場合、アクチュエータアセンブリ 4 0 0 は、長手軸に沿った並進の動きを制御しないため、長手軸に沿った直線並進（x 並進）は、制御できない自由度である。このように、x 軸の並進のようなアクチュエータアセンブリによって制御できない自由度において、境界を制御するために仮想境界が確立されてもよい。これは、以上に説明されたツールの深さを制御するための境界として構成されてもよい。上述したように、深さを制御するための境界は、目標平面に対して概ね垂直であってもよい。そのため、この境界は、複数のアクチュエータを制御するためには使用されないかもしれないが、境界は、駆動モータを制御するために使用され得る。いくつかの例においては、制御されない自由度及び制御される自由度の両方が、駆動モータ M を制御するための内側／外側チェックとして使用されてもよい。制御システム 6 0 は、誤差又は故障のために鋸刃が平面上に留まらない場合のような二次的な誤差の緩和として、制御される自由度を使用してもよい。この例においては、制御される自由度及び制御されない自由度の両方が、境界とともに、駆動モータ M の通電を制御する。かくして、アクチュエータアセンブリは、ツールがこの境界を越えてユーザによって位置決めされることを防止するようには機能しないが、制御システム 6 0 は、TCP がツールの遠位端が境界を越えていることを示したときに、ユーザが駆動モータ M を作動させることを防止するであろう。仮想境界はまた、制御される自由度において駆動モータを制御するために使用されてもよいことは、理解されるべきである。

10

20

【 0 2 6 3 】

制御システムは、手持ち部分に対してツール支持体を動かすための適切な動きパラメータを計算してもよい。動きパラメータは、指令姿勢に基づいて計算されてもよい。この決定された動きパラメータに基づいて、制御システムは、複数のアクチュエータのそれぞれに送信するための適切な信号を計算してもよい。一例においては、制御システムは、そのアクチュエータについて決定された動きパラメータ及び指令位置に基づいて、関節速度指令を出力してもよい。いくつかの例においては、ツール支持体は、可変速度で手持ち部分に対して動くことは、理解されるべきである。各アクチュエータの動きは、複数のアクチュエータのそれぞれによってツール支持体に加えられる力に基づいてもよい。

【 0 2 6 4 】

図 3 0 A 及び図 3 0 B を参照すると、切込みが確立されると、制御システム 6 0 は、ユーザが患者の解剖学的構造（例えば切断される骨）に関連する目標切断面を切断するときに、1 つ以上の仮想制約を用いて、手持ち部分 1 6 に対するツール 2 0 の 1 つ以上の動きパラメータの値を自動的に調節してもよい。一例においては、切り口に近づいている間、ガイド制約が有効になり、ツールは目標平面に自動的に位置合わせされる。制御システム 6 0 は、ツールが骨に接触し、規定された深さ境界、基準位置／基準座標系に対する距離パラメータを超えて進入すると、ガイド制約のアクティブ状態を維持する。ツールが指定された深さを通過した瞬間に、制御システム 6 0 は、アクチュエータの現在の位置を感知し、アクチュエータの現在の位置を新しい関節センタリング位置として設定し、関節センタリング制約を有効にして、ガイド制約を無効にする。このことは、システムが、「ハンドルに対する鋸刃」の位置合わせが、最初に骨に入り進行したときのように凍結された状態で、フリーハンドモードに入るようにする。ユーザは切断を続け得るが、ガイド制約が非アクティブであるため、刃が規定された深さを超えて骨内に留まっている間、制御システム 6 0 は位置合わせを自動的に補正しない。器具が固定姿勢で凍結されていても、最初の切断によって形成された骨におけるスロットが、その切断面内に留まるように刃の動きを機械的に制約しているので、刃は依然として切断面上にほぼ留まっている。ユーザが骨の出口に向かって刃を動かし始めると、深さが以前に設定された値よりも小さくなったときに（例えば、基準位置／基準座標系に対する刃の姿勢が閾値になると）、システムは、ガイド制約がアクティブとなるモードに戻る。この時点において、関節センタリング制約が無効にされ、ガイド制約が再び有効とされて、平面に対する刃の位置合わせを再開する。ガイド制約を無効にし、関節センタリング制約を有効にすることにより、ツールは、骨

30

40

50

内に刃を結合することを防止するか又はその見込みを小さくする。硬い骨で或る特定の切断深さに達すると、刃は、初期の切断進入の間に形成された骨のスロットによって、上下に効果的に制約される。刃の位置合わせの精度に少しでも誤差があると（較正の不正確さ、整合性による刃の削れ又は潜り等による）、刃の上部及び下部が骨を除去しないので、ロボットシステムは、刃を切断面に戻すことを妨げられ、骨の既に加工作された表面が、刃が切断面に戻ることを妨げ得る。その結果、制御システムは、骨に深く入り込んだときに刃の位置合わせを復元することを制限され、結合が生じた場合に、ユーザが切断を完了するために増大した力を加える必要があるようになる。かかるアプローチは、ガイド制約が骨の接近（基準位置／基準座標系の閾値内での）及び最初の切断進入の時に有効にされることを確実にし、骨の中で実行される初期の切断進入が可能な限り正確であることを確実にし、刃の更なる（更に深い）動きを機械的に制約するのに十分な一定の深さが到達されるまで、この位置合わせを継続するようにし得る。

10

【0265】

この例においては、ガイド制約は、0に近づく仮想力を有していてもよく、このことは、鋸刃が切込み内に確立されているので（図30B）、ガイド制約が遮断され得る及び／又はその調整パラメータが調整され得ることを意味する。各アクチュエータ21、22、23のリードスクリュー上の中心点に向けてロータ148を方向付ける関節センタリング制約もまた、鋸刃380が患者の解剖学的構造に切り込む間（図30B）、規定された切断深さが到達されると、遮断されてもよく、及び／又は、アクチュエータ21、22、23の現在の位置にセンタリング位置が再設定されるようにしてもよい。制御システム60は、骨に関連する基準位置に対するツール20の姿勢（例えばTCPからの）から決定される距離パラメータ（例えば方向、大きさ）に基づいて、アクチュエータ21、22、23の調節率を自動的に変化させてもよい。ツール20の姿勢は、ガイダンスアレイ200が、所望の平面を維持するよう又は所望の平面へと修正するよう手持ち部分16を動かすようにユーザに指示する間、維持されてもよい。関節限界制約及び／又は作業空間制約が、切込みが確立された後であってもアクティブなままであってもよいことが企図される。

20

【0266】

図30Aを参照しながら、複数のアクチュエータを制御する1つの例示的な方法が説明される。鋸刃の位置（TCP）が骨に関連する基準位置（RL）から第1の距離パラメータ（DP1）だけ離隔されている場合、器具は、ツール支持体が手持ち部分に対して動かされるように制御され、例えば、ゼロより大きい大きさを有する動きパラメータが使用される。このことは、切込みがまだ十分に確立されていないためである。この例においては、ガイド制約はゼロより大きい値を有し、高い硬直性値を有し、所望の切断面上に留まるようにツール支持体18を能動的に調節し指令する。

30

【0267】

図30Bを参照すると、鋸刃の位置（TCP）が、骨に関連する基準位置（RL）から第2の距離パラメータ（DP2）だけ離隔されている場合、器具は、例えばゼロの大きさが利用されるか又はそうでなければ手持ち部分に対するツール支持体の動きが止められるような、動きパラメータがより低い大きさを有するように、制御される。このことは、切込みが十分に確立されたためである。この例においては、ガイド制約力値は低減されるか又は非アクティブにされ、関節センタリング制約力値も低減され及び／又は無効にされる。代替としては、ツール支持体18と手持ち部分16との間のこの固定された相対姿勢を保持するために、関節センタリング制約が再設定されてもよい。

40

【0268】

ツール20が切込みを確立すると、器具コントローラ28は、動きパラメータの値をより低い大きさ又はゼロに設定し、及び／又は仮想制約の状態を制御して、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を調節することを停止又は低減させてもよい。ツール20が骨内に切断経路を確立すると、ツール20は、少量だけコースから外れて撓んで動き（例えば削る）、制御システムが誤差を調整しようとする際に、手持ち部分16に押し戻され得る。鋸刃は典型的には、例えば骨に埋め込まれると、

50

ピッチ及び／又はロールを調節するのに必要な方向に硬い骨を除去するようには設計されていないので、ユーザはこの力を押し戻しとして知覚し得る。手持ち部分の「押し戻し」又は「抵抗」の感覚は、ツール 20 が切削スロット 290 内にある間に、器具コントローラ 28 がアクチュエータ 21、22、23 を制御することによって生成される。かくして、所望の平面に向かって動くようにアクチュエータを制御することによって引き起こされる唯一の動きは、手持ち部分 16 の動きである。このことは、器具コントローラ 28 が、手持ち部分 16 に力が加えられるようにし、そして、その力がユーザの手に伝達され得ることを意味する。これらの力は、切断処理の間の疲労及び／又は不快感に帰着し得る。動きパラメータを変更することによって、ツール 20 は、切断の更には先ではより少ない抵抗を提供してもよい。ユーザは、動きパラメータ値を 0 に設定することによって、又はその他の方法でツール支持体に対する手持ち部分の動きを停止することによって、ツール 20 が切断スロット 290 内にあるときに手持ち部分 16 に対して格闘することなく切断が終了させられることを可能とし、切断スロット 290 が自然な切断ガイドとして機能することを、見出し得る（図 30A 及び図 30B を参照）。より詳細には、器具コントローラ 28 は、ツール 20 が目標の解剖学的構造に深く入るほど、アクチュエータ 21、22、23 が、最初に切断が開始されたときよりも比較的小さい力、速度及び／又は加速度で目標平面に向けて調節し、骨に切断された経路をガイドとして利用しながら、最終的にツール 20 が切断の途中であるときにアクチュエータの動きを停止するように、力、速度、加速度又はその他の仮想制約のそれぞれの状態に関する動きパラメータの値を、能動的に変化させてもよい。いくつかの例においては、外力／トルクセンサは、ユーザが加えた力が仮想シミュレーションにおいて考慮されることを可能とし得る。かかる場合においては、鋸刃が骨に十分に入り、切込みが確立されると、ガイド制約の硬直性が低減されてもよい。ガイドの硬直性を下げ、ユーザにより加えられた力を感知することで、制約ソルバは、ユーザが小さな大きさの加えられる力でガイド力のバランスをとることができる平衡を見出し得る。このことは、ツール 20 が平面上に完全に位置合わせされていないが、疲労を生じないような、又はアクチュエータ 21、22、23 の関節限界が尽きる点まで手持ち部分 16 が過度に押し戻さないような大きさであることをユーザに示す触覚フィードバックを、ユーザに与え得る。

10

20

30

40

50

【0269】

ツール支持体の動きパラメータを制御する 1 つの例示的な方法は、上述したように、仮想制約の状態を変更することによるものである。例えば、1 つ以上の仮想制約の状態を変更することは、仮想制約のうちの 1 つ以上をアクティブにすること、仮想制約のうちの 1 つ以上を非アクティブにすること、又は仮想制約のうちの 1 つ以上の調整パラメータを変更する（すなわち仮想制約の調整パラメータを増大又は減少させる）ことを含み得る。ガイド制約又は関節センタリング制約が非アクティブであるとき、関節限界制約はアクティブのままであってもよい。言い換えれば、仮想制約の状態を変更することによって、ツール支持体 18 は、切断が最初に開始されたときには、より大きな力、速度及び／又は加速度で（ガイド制約のための高い硬直性）、そして、ツール 20 が基準位置に対して骨の中に閾値距離だけ進行した後の力、速度及び／又は加速度で（ガイド制約のための低い硬直性）、動いてもよい。アクチュエータ 21、22、23 がツール支持体 18 を調節することを停止することは、動きパラメータをゼロに設定するという観点で説明されたが、アクチュエータ 21、22、23 は、アルゴリズムの運動制御の態様を停止することによって、又はその他の方法で複数のアクチュエータ 21、22、23 の位置を凍結することによってのような、他の適切な制御ロジックを用いて、停止されてもよいことは、理解されるべきである。以上に説明されたように、仮想制約の状態は、骨のような患者における基準位置に対する、鋸刃等のツールの状態のような、任意の適切な変数のモニタリングに基づいて制御されてもよい。代替としては、仮想制約の状態は、目標平面のような仮想オブジェクトに対するツールの状態に基づいて制御されてもよい。図 11 は、ツール 20 が鋸刃 380 を含む場合のような、ガイドを実行するために実施される処理を示す。このバージョンにおいては、拳動コントローラ 186 は、制約生成器 384 と同義であり得るガイド

ハンドラ、制約ソルバ 189、及び仮想シミュレータ 388を含む。挙動制御部 186は、境界生成器 182によって生成された1つ以上の仮想境界 184に基づいて、仮想境界制約を任意に生成するための、境界ハンドラ 389を更に含む。ガイドハンドラ／制約生成器 384、制約ソルバ 189、仮想シミュレータ 388、及び境界ハンドラ 389はそれぞれ、前述のコントローラのうちのいずれか1つ以上の非一時的なメモリに記憶され、制御システム 60によって実装される、実行可能ソフトウェアを含む。

【0270】

これに加えて、別の例示的な構成においては、力／トルクセンサからの、又はアクチュエータモータ電流を介して導出される、感知された外力の大きさに基づいて、制御システムは、関節センタリングモードをトリガしてもよい。このことは、制御システムが、「抵抗」を検出し、検出されたときに「固定されたハンドル」／フリーハンド／非ガイドモードに移行することを可能とする。かかる方法はまた、典型的には、切断が継続することを可能とするよう、ハンドルが固定されたときに（望ましくは切り口によってガイドされながら）鋸刃が平面上に十分に留まることを確実にするために、駆動モータ境界制御と組み合わせられて利用されるであろう。境界が侵犯された場合（鋸刃が平面から離れすぎたために）、適切なインジケータを通じてユーザにフィードバックが与えられてもよいし、又は駆動モータパラメータが調節されてもよい（例えば駆動モータがオフにされてもよい）。

【0271】

ガイド制約は、他のタイプのツールがツールプラットフォームに結合されているときに、ねじ、アンカー又はその他の締め具に対して、ドリルビット又はバー及び／又はタップを位置合わせするために使用されてもよい。ガイド制約は、調製された臼蓋窩に臼蓋窩カップインプラントを着座させるために臼蓋窩カップインプラントに衝撃を与えるための所望の軌道と、インパクトを位置合わせするために使用されてもよい。ガイド制約は、他のタイプのインプラントを着座させるために使用されるツールを位置合わせするために、使用されてもよい。ガイド制約は、Kワイヤ、カニキュレ、トロカール、開創器等を配置するためのツールを位置合わせする／ガイドするために使用されてもよい。

【0272】

器具 14の動作の様々なモード又は状態を切り換える／アクティブにするために、様々なユーザインタフェース UI 上のもののような入力デバイスが利用されてもよい。例えば、ツール 20の UI は、制約力 F_c がツールの動きに関連する力及びトルクの成分を含むように、1つ以上の仮想制約をアクティブにするよう作動させられ得る入力デバイス（ボタン、タッチセンサ、ジェスチャ入力、フットペダル、トリガ等）を有してもよい。制御システム 60は、或る特定の状況において仮想制約の状態を自動的に変更するように構成されてもよい。制御システム 60はまた、選択されたモードで継続するためにディスプレイ 38のうちの1つ以上に選択可能なプロンプトを提供することによってのように、自動的に別のモード又は状態で継続する前に、まずユーザに対してプロンプト表示してもよい。

【0273】

さらに、器具コントローラ 28、ユーザ、又はその両方が、入力デバイスを通して手動で、ナビゲーションデータ、アクチュエータデータ、駆動モータデータに基づいて自動的に、又はこれらの組合せで、器具 14をモード間及び挙動間及び状態間で切り換えてもよいことが企図される。いくつかの場合においては、ユーザは、器具が特定の姿勢（手持ち部分に対するツール支持部）で保持されるべきであると決定し、入力デバイスを用いて器具コントローラをオーバライドしてもよい。

【0274】

いくつかの構成においては、切断されるべき解剖学的特徴の表面（例えば骨の表面）は、基準点、仮想境界、又はその両方として機能し、器具コントローラ 28に、(i) 器具 14、(ii) 1つ以上のアクチュエータ 21、22、23、(iii) ガイダンスアレイ 200、(iv) 1つ以上の視覚インジケータ 201、202、203、又は(v) これらの組合せの、動作モード又は挙動を変更させてもよい。

【0275】

いくつかの例においては、器具コントローラ28は、1つ以上の出力を決定するために、1つ以上の入力を利用してよい。1つ以上の入力は、基準位置、ツール20のツール中心点TCP、若しくはツール支持体18上のツールトラッカ52によるTCP座標系の姿勢のような、患者トラッカ54、56によって決定された骨の姿勢、手持ち部分16の姿勢、ツール20の指令姿勢、距離パラメータ、アクチュエータ情報（指令位置又は測定された位置及び／又は姿勢、現在の位置及び／又は姿勢、過去の位置及び／又は姿勢等）、フットスイッチ、トリガ若しくはタッチスクリーンからの入力信号、又はこれらの組合せを含んでもよい。器具コントローラ28の1つ以上の出力は、駆動モータMのモータパラメータを変更すること、力、加速度又は速度を変更することを含むツール支持体18の動きパラメータ（例えば制約の状態又は調整パラメータを変更すること）を調節すること、境界制御をオフにすること、手持ち部分16に対してツール20及びツール支持体18を保持又は凍結すること、ホーミングモードをアクティブにすること、又はこれらの組合せを含んでもよい。入力の任意の適切な組合せは、任意の適切な出力とともに利用される。

10

【0276】

目標状態に対する及び／又は手術部位に対する、又は指令位置に対する、ツール20の現在の状態及び／又は1つ以上のアクチュエータの現在の状態は、ツール20、ツール支持体18、手持ち部分16、アクチュエータ21、22、23、目標状態、仮想境界184、及び／又は手術部位、例えば大腿骨F、脛骨T、骨盤、椎体又は他の解剖学的構造のグラフィカルな表現を介して、ナビゲーションシステム32によって出力されてディスプレイ38上に表現されてもよい。これらのグラフィカルな表現は、ユーザが目標状態、仮想境界184、解剖学的構造等に対する自分の動きを視覚化できるように、リアルタイムで更新されてもよい。例えば、ツール20及び解剖学的構造のグラフィカル表現は、ツール支持体18によるツール20の実際の動き及び解剖学的構造の実際の動きとともに、ディスプレイ38上でリアルタイムに動いてもよい。

20

【0277】

オブジェクトの位置と向きとの組合せが、オブジェクトの姿勢と呼ばれることは、理解されるべきである。本開示を通じて、姿勢という用語は、本明細書に記載される概念の好適な代替を達成するために、1以上の自由度における位置及び／又は向きによって置き換えられ得ること、及びその逆が企図されている。言い換えれば、姿勢という用語の任意の使用は、位置と置き換えられることができ、位置という用語の任意の使用は、姿勢と置き換えられ得る。

30

【0278】

本教示による方法は、例えば、コンピュータ実装方法である。例えば、本教示による方法における全てのステップ又は単に一部のステップ（すなわちステップの総数より少ない）は、コンピュータ（例えば少なくとも1台のコンピュータ）によって実行され得る。コンピュータ実装される方法の構成は、データ処理方法を実行するためのコンピュータの使用である。さらに、本教示においては、本明細書に開示される方法は、少なくとも1つのコンピュータ（例えば少なくとも1つのコンピュータはナビゲーションシステムの一部である）の少なくとも1つのプロセッサ上で、該少なくとも1つのプロセッサによって実行される以下の例示的なステップを実行することを含む。

40

【0279】

コンピュータは例えば、データを例えば電子的及び／又は光学的に（技術的に）処理するために、少なくとも1つのプロセッサと、例えば少なくとも1つのメモリとを含む。プロセッサは例えば、半導体、例えば少なくとも部分的にnドーブ及び／又はpドーブされた半導体、例えばII、III、IV、V、VI半導体材料のうちの少なくとも1つ、例えば（ドーブされた）シリコン及び／又はガリウムヒ素のような、物質又は組成物から作られる。説明された算出ステップ又は決定ステップは、例えばコンピュータによって実行される。決定するステップ又は算出するステップは、例えば、技術的方法の枠組内で、例

50

例えばプログラムの枠組内で、データを決定するステップである。コンピュータは、例えば、あらゆる種類のデータ処理デバイス、例えば電子データ処理デバイスである。コンピュータは、例えばデスクトップPC、ノートブック、ネットブック等のような、一般に考えられるデバイスであり得るが、例えば携帯電話又は組み込みプロセッサのような、任意のプログラム可能な装置であってもよい。コンピュータは、例えば、「サブコンピュータ」のシステム（ネットワーク）を含んでもよく、各サブコンピュータは、それ自体でコンピュータを表す。「コンピュータ」という用語は、クラウドコンピュータ、例えばクラウドサーバを含む。コンピュータという用語は、サーバリソースを含む。「クラウドコンピュータ」という用語は、例えば少なくとも1つのクラウドコンピュータと、サーバファームのような複数の動作可能に相互接続されたクラウドコンピュータのシステムとを含む、クラウドコンピュータシステムを含む。かかるクラウドコンピュータは、好ましくは、ワールドワイドウェブ（WWW）のような広域ネットワークに接続され、全てがワールドワイドウェブに接続されているコンピュータのいわゆるクラウド中に位置させられる。かかる基盤構造は、エンドユーザが特定のサービスを提供するコンピュータの物理的な場所及び／又は構成を知る必要がない、計算、ソフトウェア、データアクセス及びストレージサービスを記述する、「クラウドコンピューティング」に使用される。例えば、「クラウド」という用語は、この点に関して、インターネット（ワールドワイドウェブ）のメタファーとして使用される。例えば、クラウドは、コンピューティング・インフラストラクチャ・アズ・ア・サービス（IaaS）を提供する。クラウドコンピュータは、本教示の方法を実行するために使用されるオペレーティングシステム及び／又はデータ処理アプリケーションのための仮想ホストとして機能することができる。クラウドコンピュータは、例えば、Amazon Web Service（Amazon Web Service（商標）によって提供されるエラスティック・コンピューティング・クラウド（EC2）である。コンピュータは、例えば、データを受信又は出力するため、及び／又はアナログ・デジタル変換を実行するために、インタフェースを含む。例えば、本教示は、実施されるために専門の医療専門知識を必要とする身体への実質的な物理的な干渉を表し、必要とされる専門的ケア及び専門知識を用いて実施される場合であっても実質的な健康リスクを伴う、侵襲的ステップを伴わないか、又は特に含まない若しくは包含しないものであり得る。データは、例えば、物理的な特性を表すデータ及び／又は技術的信号から生成されるデータである。技術的信号は、例えば、（技術的な）検出デバイス（例えばマーカデバイスを検出するためのデバイスのような）及び／又は（技術的な）分析デバイス（例えば（医療）撮像方法を実行するためのデバイスのような）によって生成され、技術的信号は、例えば電気信号又は光信号である。技術的信号は、例えば、コンピュータによって受信又は出力されるデータを表す。コンピュータは、好ましくは、コンピュータによって出力された情報が例えばユーザに対して表示されることを可能にする表示デバイスに、動作可能に結合される。表示デバイスの一例は、仮想現実デバイス又は拡張現実デバイス（仮想現実眼鏡又は拡張現実眼鏡とも呼ばれる）である。表示デバイスの別の例は、例えば、表示デバイス上に画像情報コンテンツを表示するために使用される信号を生成するために、コンピュータから表示制御データを受信するためにコンピュータに動作可能に結合された液晶ディスプレイを含む、標準的なコンピュータモニタであろう。

10

20

30

40

【0280】

本教示はまた、プログラム上でコンピュータによって実行されたときに、コンピュータに、本明細書に記載の単数又は複数の方法、例えば単数又は複数の方法のステップを実行させる命令を含む、コンピュータプログラム、及び／又はプログラムが記憶されたコンピュータ可読記憶媒体（例えば、非一時的なコンピュータ可読記憶媒体）、及び／又は該プログラム記憶媒体を含むコンピュータ、及び／又は、例えば前述のプログラムのようなプログラムを表す情報を担持する電磁搬送波のようなデジタル信号波といった（例えば電気的なもののような物理的な、例えば技術的に生成された）信号波であって、例えば本明細書に記載された方法ステップのいずれか又は全てを実行するよう適合されているコード手段を含む信号波に関する。信号波は、一例においては、前述のコンピュータプログラムを

50

担持するデータキャリア信号である。本教示はまた、少なくとも1つのプロセッサ及び／又は前述のコンピュータ可読記憶媒体と、例えばメモリとを含み、プログラムがプロセッサによって実行される、コンピュータに関する。

【0281】

本教示の枠組内で、コンピュータプログラム要素は、ハードウェア及び／又はソフトウェア（これはファームウェア、常駐ソフトウェア、マイクロコード等を含む）によって具現化され得る。本教示の枠組内で、コンピュータプログラム要素は、命令実行システム上での又はそれに関連した使用のための、コンピュータ使用可能な、例えばコンピュータ可読データ記憶媒体であって、該データ記憶媒体内に実施されたコンピュータ可読プログラム命令、「コード」又は「コンピュータプログラム」を含む、コンピュータ可読データ記憶媒体によって具現化され得る、コンピュータプログラム製品の形をとることができる。かかるシステムはコンピュータであってもよく、コンピュータは、本教示に従ってコンピュータプログラム要素及び／又はプログラムを実行するための手段を含むデータ処理デバイスであってもよく、データ処理デバイスは例えば、コンピュータプログラム要素を実行するデジタルプロセッサ（中央処理デバイス又はCPU）と、任意にコンピュータプログラム要素を実行するために使用される及び／又はそれによって生じるデータを記憶するための揮発性メモリ（例えばランダムアクセスメモリ又はRAM）とを含む。本教示の枠組内で、コンピュータ使用可能な、例えばコンピュータ可読のデータ記憶媒体は、命令実行システム、装置又はデバイス上での又はそれに関連した使用のためのプログラムを含む、記憶する、通信する、伝搬する又は搬送することができる、いずれのデータ記憶媒体であってもよい。コンピュータ使用可能な、例えばコンピュータ可読のデータ記憶媒体は、例えば、限定するものではないが、電子、磁気、光学、電磁、赤外線若しくは半導体システム、装置若しくはデバイス、又は例えばインターネットのような伝搬媒体であってもよい。

【0282】

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／デジタルディスクリート回路、デジタル、アナログ、又は混合アナログ／デジタル集積回路、組合せ論理回路、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合せを指すか、その一部であるか、又はそれを含み得る。

【0283】

コントローラは、1つ以上のインタフェース回路を含み得る。いくつかの例では、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。

【0284】

コントローラは、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開示で描写され得るが、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。

【0285】

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。

【0286】

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。

【0287】

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、有形かつ非一時的であるとみなされ得る。非一時的な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。

【0288】

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。

【0289】

コンピュータプログラムは、少なくとも1つの非一時的なコンピュータ可読媒体に記憶され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力／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。

【0290】

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、

10

20

30

40

50

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。

【0291】

いくつかの実施形態が、前述の記載において説明された。しかしながら、本明細書で議論された実施形態は、網羅的であること又は本教示をいずれかの特定の形態に限定することを意図されたものではない。使用されてきた用語は、限定するものではなく、本質的に説明の言葉であることを意図されている。多くの修正及び変形が、以上の教示に照らして可能であり、提示された教示は、具体的に説明されたもの以外の方法で実施され得る。

【0292】

ここで図32～図33Cを参照すると、システムは、器具14のガイドモードが有効にされるべき場所を指定するために、異なる空間領域を画定することができる。これらの空間領域は、1つ以上の異なる仮想オブジェクト（図33A～図33C）を使用すること、又は様々な距離パラメータ（図32）を使用すること等、いくつかの異なる方法で画定され得る。一例では、空間領域は、基準座標系において指定されてもよく、制御システムは、既知の座標系に対する基準座標系の位置及び／又は向きを決定するように構成される。

【0293】

一般に、器具14が膝から遠い等、患者の解剖学的構造から遠い場合、器具のガイドモードは無効にされるべきである。換言すれば、ガイド制約は非アクティブ化されるべきである。器具14が（所与の空間領域内の）膝の近くにある場合、ガイドモードが有効にされるべきである。換言すれば、ガイド制約はアクティブであるべきである。

【0294】

ここで図33A～図33Cを参照すると、器具14がどの領域にあるかをシステム10が決定する1つの方法は、患者に対して、又は患者の解剖学的構造に対して既知である基準位置に対して画定された仮想オブジェクト500、502に対する等、患者の解剖学的構造に対する刃20のTCPの位置をモニタリングすることによる。したがって、制御システム60は、既知の座標系における外科用ツール20の状態を決定することができる。上述したように、刃20又は他の外科用ツールのTCPの状態は、CADデータ又は刃レジストレーションプロセスとともに、ツール支持体18及び／又は手持ち部分のうちの1つを追跡することに基づいて決定され得る。或る特定の例では、ユーザは、刃20又は他のツールのTCPが異なる空間領域の縁部上にあるように器具14を位置決めすることができる。ユーザの手の安定性及び／又はローカライザの測定におけるノイズのいずれかに基づいて、TCP位置に何らかの偏差が生じることが多い。この場合、TCPは、2つの異なる空間領域の間で意図せずに前後に移動することがあり、これは、器具14がガイドされるモードと器具14がガイドされないモードとの間で器具を遷移させることがある。これは、ユーザが、複数のアクチュエータのモータが異なる空間領域間を移動するときに、急速に係合及び係合解除し、フラッター／チャターオン／オフを感じる可能性があるため、ユーザにとって不快となる可能性が高い。

【0295】

この問題のうちの1つ以上を修正するために、制御システムは、外科用ツール20の状態と基準システムとの間の第1の関係基準に基づいて、ガイドモードをアクティブ化するように構成することができ、制御システムは、外科用ツール20の状態と基準座標系との間の第2の関係基準に基づいて、ガイドモードを非アクティブ化するように構成することができ、第1の関係基準及び第2の関係基準は、異なる。代替として、制御システムは、基準座標系を利用する必要はなく、むしろ、外科用ツールの状態と患者座標系、すなわち、患者の解剖学的構造の部分に結合されるトラックに対して定義されるものとの間の関係

に基づいて、ガイドモードをアクティブ化及び非アクティブ化する。基準座標系はまた、外科用ツールの目標姿勢に基づいてもよい。

【0296】

この例では、ガイドモードは、複数のアクチュエータを制御して、外科用ツールを切断面等の仮想オブジェクトと位置合わせするように動作可能なモードとして定義され得る。ガイドモードは、外科用ツールを仮想オブジェクトに位置合わせさせるガイド制約の使用に限定されないが、ガイドモードは、いくつかの例では、ガイド制約のアクティブ化を含み得る。いくつかの例では、ツールの状態は、外科用ツールの姿勢として特徴付けられ得る。

【0297】

システム60が非ガイドモードにあるときにガイドモードを有効にする基礎として、小さい球500等の仮想オブジェクト500、502を使用することができ、システム60がガイドモードにあるときにガイドモードを無効にする基礎として、やや大きい球502を使用することができる。したがって、第1の関係基準は、第1の仮想オブジェクト500に基づき得るものであり、第2の関係は、第2の仮想オブジェクト502に基づき得る。第1の仮想オブジェクト500及び第2の仮想オブジェクト502の姿勢及び／又は形状は、基準座標系に対して定義され得る。第1の仮想オブジェクト500及び第2の仮想オブジェクト502の姿勢及び／又は形状は、異なる場合がある。換言すれば、図33Aを参照すると、TCPがより小さい球500の外側にあるように、ユーザが最初に器具14を位置決めした場合、システムは、TCPがより小さい球500に入るまで非ガイドモードのままである。図33Bを参照すると、TCPがより小さい球500又は第1の仮想オブジェクトに入るように、ユーザが器具14を動かすと、制御システム60は、ガイドモードで動作するように器具14を制御し、空間定義をより大きい球502又は第2の仮想オブジェクトに自動的に変更する。図33Cを参照すると、TCPがまだより大きい球502を出ていない場合、システム60は、TCPがより大きい球502を出るようにユーザが器具14を位置決めするまで、ガイドモードのままである。そして、多くの場合、ユーザは、（一般的に、より小さい球500内に留まる）骨の切断を実行し、切断を完了した後、TCPがより大きい球502を出るように器具を動かして、制御システム60は、器具14を非ガイドモードに遷移させ、そして、制御システム60は、空間定義をより小さい球500又は第1の仮想オブジェクトに遷移させて戻す（図33Aに戻る）。そして、システム60は、TCPが再びより小さい球500に再進入するまで、非ガイドモードのままである。要約すると、第1の関係基準は、外科用ツール及び第1の仮想オブジェクトの姿勢に基づくことができ、第2の関係基準は、第2の時間における外科用ツールの姿勢に基づくことができ、かつ第2の仮想オブジェクトに基づくことができる。これらの仮想オブジェクトは、メッシュ等の1次元、2次元、又は3次元オブジェクト等の任意の数の方法で構成することができる。

【0298】

領域／仮想オブジェクト間の空間差は、ユーザ選好に基づいて、又は所与の処置内の異なる外科手術用途若しくは異なる切断のために、予め規定され得るか、又は選択可能であり得る。いくつかの例示的な実施形態では、2つの仮想オブジェクトの外側境界等の空間領域間のサイズ差は、少なくとも3cm、5cm、又は10cmであり得る。空間差は、TCP位置におけるユーザ起因ジッタ及びノイズ起因ジッタを超えるほど十分に大きい、ユーザによって過度に知覚されないほど十分に小さいように選択されるべきである。この例では、異なるサイズの球500、502が企図されているが、任意の適切な多角形等の他の形状を使用することもできる。

【0299】

ここで図32を参照すると、異なる空間領域は、仮想オブジェクトの代わりに距離パラメータDP3、DP4も使用して画定されてもよい。こうした構成では、第1の関係基準は、外科用ツール20の状態及び基準座標系又は基準位置RLに基づいて第1の距離パラメータDP3を決定することに基づくことができ、第2の関係基準は、外科用ツール20

10

20

30

40

50

の状態及び基準座標系又は基準位置に基づいて第2の距離パラメータDP4に基づき、第1の距離パラメータDP3は第2の距離パラメータDP4とは異なる。距離パラメータDP3、DP4はしばしば異なり、距離パラメータDP3は距離パラメータDP4よりも小さい。

【0300】

こうした実施態様では、外科用ツール20が、切断される骨に比較的近い状態を有する（ツールの状態が、距離パラメータDP3未満の距離をもたらす）とき、制御システムは、ガイドモードで動作する。制御システム60がガイドモードで動作すると、制御システム60は、より大きい距離パラメータDP4に対する外科用ツール20の状態を評価する。外科用ツール20と基準位置RLとの間の距離が第2の距離パラメータDP4未満である限り、制御システムはガイドモードのままである。しかしながら、外科用ツール20との間の距離が第2の距離パラメータDP4を超えると、制御システムは非ガイドモードに入り、ツール20と基準位置RLとの間の距離を第1の距離パラメータDP3と比較する。

10

【0301】

制御システムの別の態様では、制御システムは、駆動モータが動作することを可能にされる関節角度／アクチュエータ位置の範囲を定義することができる。関節／アクチュエータのいずれかがこれらの範囲を超えると、制御システムは、ツール支持体及び鋸刃／切断ツールが切断面／目標姿勢と位置合わせされることをもはや確実にすることができない。関節／アクチュエータの移動が関節／アクチュエータのうちの少なくとも1つについて使い果たされると、制御システムは、1以上の自由度でツール支持体をロボットの位置合わせさせるその能力を失う。したがって、制御システムは、ツール駆動モータと、鋸刃又は他の外科用ツールが骨を切断する能力とを無効にするように構成することができる。これは、切断／外科手術の改善された精度のために、誤った場所における切断を防止することに役立つ。駆動モータをオフにすることはまた、器具をその許容される可動域内に戻すために、器具の手持ち部分の位置のみが必要であるというフィードバックをユーザに与える。

20

【0302】

1つの例示的な構成では、制御システムは、過去のものであれ現在のものであれ、指令されたものであれ測定されたものであれ、アクチュエータ位置又は関節の角度値を決定することができる。アクチュエータベースの計算の場合、例示的なアクチュエータは、そのホーム位置を0mmとして、その全移動範囲にわたって-10mm～+10mm移動することができる。アクチュエータの移動が-100%から0%を経て+100%になるように、アクチュエータの位置をその全移動の一部と考えることができる。制御システムは、ツール駆動モータのモータステータスを更に定義し、アクチュエータ位置又は関節の角度値及びモータステータスに基づいてツール駆動モータを制御することができる。

30

【0303】

図7を参照すると、ソフトウェアプログラム378は、モータステータスに基づいて第1のアクチュエータ又は関節の閾値を決定するように構成することができ、制御システム60は、アクチュエータ位置又は関節の角度値、第1のアクチュエータ又は関節の閾値、及びモータステータスに基づいてツール駆動モータMを制御することができる。さらに、制御システム60は、モータステータスに基づいて第2のアクチュエータ又は関節の閾値を決定し、第2のアクチュエータ又は関節の閾値及びアクチュエータ位置又は関節の角度値に基づいてツール駆動モータMを制御するように構成することができ、第2のアクチュエータ関節閾値は、第1のアクチュエータ関節閾値とは異なる。こうしたシステムの場合、第1の関節／アクチュエータ閾値は、-80%～+80%の範囲に設定することができる。この例では、関節／アクチュエータ閾値は、システム60が鋸刃20又は他のツールを目標平面TP上に又は仮想オブジェクトと位置合わせされた状態に保つフルコントロールを依然として有するときにツール駆動モータMが無効にされるように、各アクチュエータの全動作範囲のサブセットのみを包含する。この例では、測定された又は指令された関節

40

50

の位置又は角度が第1の関節／アクチュエータ閾値範囲を超える場合、制御システム60は、駆動モータMを制限状態に設定することによって駆動モータMを制御することができ、この場合、駆動モータMはもはや動作することを許容されない。関節／アクチュエータ閾値が静的なままであるか、又は駆動モータステータスにかかわらず同じままである場合、ユーザは、関節／アクチュエータがアクチュエータ又は関節の閾値に頻繁に当たり、ツール駆動モータMが頻繁にオン及びオフになるように、手持ち部分16を保持する傾向を有し得る。最適なユーザ体験のためには、ツール駆動モータMができるだけオフにならないようにして、ユーザが中断することなく切断を実施できるようにすることが望ましい。

【0304】

第1のアクチュエータ又は関節の閾値は、ツール駆動モータMのモータステータスが、駆動モータMが動作することを許容される許容状態にあるときに使用され得る。第2のアクチュエータ又は関節の閾値は、ツール駆動モータMのモータステータスが、ツール駆動モータMが動作することを許容されない制限状態にあるときに使用され得る。第1の関節／アクチュエータ閾値が、駆動モータMが許容状態にあるときに $-80\% \sim +80\%$ の範囲である場合、第2の関節／アクチュエータ閾値は、ツール駆動モータMが制限状態にあるときに $-50\% \sim +50\%$ の範囲であり得る。

【0305】

許容状態にあるとき、ツール駆動モータMは、（ユーザがトリガ／フットスイッチ／ユーザ入力を押下している場合（図17CのR／Sの参照））、測定された／指令されたアクチュエータ位置又は関節の角度が第1の閾値内に留まる限り、動作することを許容される。以前の例のように、関節／アクチュエータのいずれかが第1の閾値範囲を超える角度又は位置を有する場合、制御システム60は、駆動モータMを制限状態に設定する。モータステータスの変化に基づく制限状態への遷移の一部として、関節／アクチュエータ閾値は、典型的にはより小さく、第1のアクチュエータ又は関節の閾値又は閾値の範囲内に含まれる第2のアクチュエータ又は関節の閾値に更新されてもよい。制御システム60は、第2のアクチュエータ又は関節の閾値に対する関節／アクチュエータの角度又は位置を決定し続ける。駆動モータMは、関節／角度の測定値の全てが第2のアクチュエータ又は関節の閾値内になるまで、許容状態に戻されない。いったんそれが起こると、制御システム60は、再び、モータステータスを許容状態に設定し、ツール駆動モータは、再び有効になり（すなわち、再び動作することを可能にされ）、関節／アクチュエータ閾値は、再び、より広く、より使用可能である、第1のアクチュエータ又は関節の閾値に変更される。

【0306】

上述のように、アクチュエータ位置又は関節の角度値は、現在の測定位置、以前の測定位置、指令位置、現在の測定された関節角度、以前の測定された関節角度、指令された関節角度、又はそれらの組合せであり得る。同様に、アクチュエータ又は関節の閾値は、現在の測定位置、以前の測定位置、指令位置、現在の測定された関節角度、以前の測定された関節角度、指令された関節角度、又はそれらの組合せに関して定義され得る。

【0307】

2つの異なるアクチュエータ又は関節の閾値を使用することの利点は、第1のアクチュエータ又は関節の閾値の縁部のすぐ近くでホバリングすることがもはや可能ではないので、ツール駆動モータMの急速なオン／オフの切り替えを防止することができることである。駆動モータMのステータスが制限状態に設定されると、ユーザは、制御システム60がツール駆動モータMを再び許容状態に遷移させるために、手持ち部分16の位置決めをより意識的に評価し、手持ち部分16を正確に（第2のより小さい範囲内で）位置合わせすることを強いられる。この方法は、制御システム60が最初に駆動モータMを制限状態に配置した後にはわずかに長い回復時間をもたらすことがあるが、制限状態に戻る即時の後続の遷移の可能性を低減することによってそれを補う。この制御システム60の実施態様は、モニタリングされた関節／アクチュエータ位置／アクチュエータがアクチュエータ又は関節の閾値を超えるため、駆動モータMを不注意に遮断する可能性を低くするように、手

持ち部分の適切な位置決めユーザを訓練することができる。この結果、外科処置中の中断が少なくなり、処置時間が短縮され、ユーザ体験が向上する。

【0308】

ここで図34Aを参照すると、追加の例は、手持ち部分16又はツール支持体18の姿勢、境界601、及びモータステータスに基づいて、駆動モータMを制御するように構成される、制御システム60を伴うことができる。境界601は、体積スロット／ボックス（少なくとも鋸刃と同じ大きさの厚さを有するが、場合によっては少なくとも0.2mm～0.5mm以上の厚さを有する）を画定することができる。鋸刃が十分に平面上にあるとき、鋸刃はスロット内にあり、駆動モータは動作することを許容される。刃の貫通深さが境界601を或る特定の閾値だけ超えると、制御システムは、駆動モータMを停止する、すなわち、駆動モータを制限状態に設定する。こうした方法は、駆動モータのモータステータスを決定することと、手持ち部分16又はツール支持体18の姿勢、境界601、及びモータステータスに基づいて、アクチュエータ又は関節の閾値を選択することとを伴うことができる。制御システム60はまた、アクチュエータアセンブリのアクチュエータ又は関節の値を決定し、アクチュエータ又は関節の閾値及びアクチュエータ位置又は関節の角度値に基づいてツール駆動モータMを制御することができる。こうした例では、制御システム60は、ツール20、ツール支持体18、及び／又は手持ち部分16の状態／姿勢等の器具14の1つ以上の構成要素の位置及び／又は向きに基づいて、ツール駆動モータMを無効にする（すなわち、駆動モータを制限状態に設定する）ときを決定し、決定された関節／アクチュエータ角度又は位置値を使用して、ツール駆動モータMを再び有効にする（すなわち、ツール駆動モータを許容状態に設定する）ときを決定することができる。制御システム60が、駆動モータのステータスが許容状態にあると決定した場合、制御システム60は、鋸刃20又はツール（又はその表現）が境界601を指定された量よりも多く超えているか否かを評価する。この構成では、制御システム60は、トラッカ52、54の姿勢等のローカライザからの情報を使用して、状態としても既知である、骨に対する鋸刃20の位置／向きを決定する。制御システム60は、刃20又はツールのいずれかの態様が、（0.25mm等の）指定された量を超えて境界601を貫通することを制御システム60が決定するかどうかに基づいて、モータステータスを許容状態から制限状態に変更する。刃が境界601を貫通すると、制御システム60は、駆動モータMを制限状態に遷移させ、これにより、ツール駆動モータMがオフになる。

【0309】

この時点で、制御システム60は、以前の例で上述したように、決定された関節角度／アクチュエータ位置及びアクチュエータ又は関節の閾値又は範囲に基づいて、ツール駆動モータMを制御する。換言すれば、制御システム60は、全ての関節角度／アクチュエータ位置がアクチュエータ又は関節の閾値又は閾値の範囲内になるまで、駆動モータMが無効にされるように構成される。制御システム60が、関節角度／アクチュエータ位置がアクチュエータ又は関節の閾値の範囲内にあると決定すると、制御システム60は、駆動モータステータスを再び許容状態に設定する。駆動モータステータスが許容状態に戻されると、制御システム60は、刃20（又は器具の他の構成要素）の位置及び境界601に基づいて駆動モータMを再び制御する。アクチュエータ又は関節の閾値／範囲は、ユーザの好みに応じて変化し得るが、一例では、アクチュエータ又は関節の閾値は、-50%～+50%の範囲として例示することができる。この例では、制御システム60は、ガイドモードで動作し続け、（関節／アクチュエータの動きの制限を考慮して）その能力の最大限まで目標平面TPへの位置合わせを実行しようと試みることができるが、駆動モータMは、鋸刃20が設定量を超えて境界601を超えない間のみ動作することが許容される。

【0310】

この例示的な実施態様は、駆動モータMを使用不能にする可能性が低いので、骨切除中にユーザにとってより寛容であり得る。この場合、（位置特定を介して測定されるような）器具14の刃20又は他の構成要素の最終位置のみが、駆動モータMを無効にする（駆動モータを許容状態から制限状態に遷移させる）ために使用される。

【0311】

刃20が目標平面TPの近くに位置決めされ、指定された閾値を超えて境界601を貫通していない限り、ユーザは駆動モータMを動作させることができる。これは、モニタリングされた関節角度／アクチュエータ位置が上述のアクチュエータ又は関節の閾値を超えている場合であっても適用される。これは、完全なロボット位置合わせがもはや可能でなくとも、刃20が依然として目標平面TP上／付近にあるように、ユーザが手持ち部分16を保持している可能性があるため、1つ以上のアクチュエータ又は関節がそれらの閾値に達した場合であっても、刃20が目標平面TP上に留まる可能性があるためである。これが起こり得る1つの状況は、ユーザが、切除されていない骨／切り口が刃の動きをほぼ制約するように（刃が目標平面上に留まるように強いられるように）、骨の中へ2.5cmを超えて等、十分に深く切断したときである。最初の切断が行われ、切り口が正確に確立されると、鋸刃20は、（ロボットによる位置合わせが制限されていても）同じ平面上に留まる傾向がある。刃が目標平面上で切断しており、境界601の近位／外側にあることを位置特定データが示す限り、ツール駆動モータMを使用不能にすることは厳密には必要ではない。その結果、ユーザは、駆動モータMを停止することによって中断される頻度が少なくなる可能性がある。

10

【0312】

この構成では、制御システム60は、鋸刃20が境界601を貫通しているときにモータステータスを制限状態に設定する。このモータステータスが設定されると、制御システム60は、関節角度／アクチュエータ位置値を決定し、関節角度／アクチュエータ位置値及び関節／アクチュエータ閾値に基づいて駆動モータMを制御する。モータステータスにかかわらず、この構成では、制御システム60は、ガイドモードで動作し続け、刃20を目標平面TPと位置合わせしようとする。駆動モータステータスが制限状態に設定された場合、ユーザは既に幾分混乱させられているため、この混乱が存在する間、駆動モータMを再び許容状態に設定する前に、手持ち部分16がツール支持体18と適度に良好に位置合わせされることを確実にすることも有利である。（アクチュエータ又は関節の閾値を設定することによって）駆動モータMの動作を許容する前に、手持ち部分16がツール支持体18と合理的に位置合わせされることを確実にすることによって、制御システム60は、任意の後続の駆動モータMが遮断する（又は制限状態に設定する）可能性を低減させる。

20

30

【0313】

後方保護境界600及びスロット境界601は、単一の仮想オブジェクトとして組み合わされることが理解されるべきである。こうした実施態様では、鋸刃がもはや十分に平面上にないとき、又は鋸刃が切断の後方面に深く入り過ぎた場合、鋸は、スロット形状境界601又は後方境界600を貫通するであろう。

【0314】

図34Bでは、上述のように境界600、601に対して制御することに加えて、制御システム60は、外科用ツール20が境界602の外側にあるときに第1のアクチュエータ又は関節の閾値を選択し、外科用ツールが境界602内にあるときに第2のアクチュエータ又は関節の閾値を選択するように更に構成することができ、第1のアクチュエータ又は関節の閾値は、第2のアクチュエータ又は関節の閾値とは異なる。制御システム60は、外科用ツール20が境界602内にあり、ツール駆動モータが制限状態にあるとき、第2のアクチュエータ又は関節の閾値を選択するように構成することができる。制御システム60は、いくつかの構成では、境界の姿勢を決定し、境界602の姿勢又は境界602の形状に基づいて、アクチュエータ又は関節の閾値を制御し得ることが理解されるべきである。

40

【0315】

図34Aを継続して参照すると、制御システム60は、モータステータスに基づいて、駆動モータ制御基準及び第2の駆動モータ制御基準のうち的一方を選択するように構成することができる。第1の駆動モータ制御基準は、アクチュエータアセンブリの少なくとも

50

1つのアクチュエータ又は関節のアクチュエータ位置又は関節の角度値を含み得る。第2の駆動モータ制御基準は、境界600に基づいてもよい。制御システム600はまた、選択された駆動モータ制御基準に基づいてツール駆動モータ60を駆動するように構成することができる。制御システム60は、モータステータスが制限状態にあるとき、第1の駆動モータ制御基準を選択することができる。制御システム60は、モータステータスが許容状態にあるとき、第2の駆動モータ制御基準を選択することができる。或る特定の実施態様では、第1の駆動モータ制御基準は、アクチュエータ位置又は関節の角度値及びアクチュエータ又は関節の閾値を含む。制御システム60は、モータステータスが変化又は遷移したと制御システム60が決定したときに、第1の駆動モータ制御基準又は第2の駆動モータ制御基準の選択を実行することができる。ガイドモードのステータス、及び／又は他の仮想オブジェクトに対するツールの状態等の他の制御基準もまた、第1の駆動モータ制御基準又は第2の駆動モータ制御基準の使用のために企図される。

10

【0316】

上述のように、制御システムは、制御システムがガイドモードで動作している間に刃が目標姿勢と位置合わせされるように、複数のアクチュエータを制御することができる。或る特定の例では、器具14は、制御された自由度と称される3自由度で鋸刃20の姿勢を制御するように動作する複数のアクチュエータを含み得る。ハンドピースの大まかな位置決めに影響を及ぼす追加の自由度は、ユーザによって提供される。上述したように、全膝処置等の或る特定の外科処置を行うとき、制御システム60が、切断面上にある間であっても過度の切除を防止すること、例えば、切断の深さを制御すること、又は内側方向若しくは外側方向の過度の切断を防止することが望ましい場合がある（図34Aに示される上記の後方境界600を参照）。制御システムは、（位置特定データを使用して）刃の位置をモニタリングし、刃の位置及び境界に基づいてツール駆動モータを制御することによって、例えば、鋸刃が規定された境界を超えるか、又は定義された境界を超えるか、又は定義された境界の外側／内側にある場合に駆動モータを無効にすることによって、この制御を達成することができる。この特徴は、ユーザによって所望される場合、靱帯又は腱等の軟組織を保護することに役立ち得る。上述したように、境界は、幾何学的プリミティブのような様々な技術を通して、平面又はメッシュとして定義され得る。境界は、基準座標系内に位置決めされてもよく、又は軸に沿って投影されてもよい。境界はまた、インプラントのタイプ及びサイズに基づいて事前に定義されるか、術前撮像に基づいて計算されるか、又はナビゲートされるポインタデバイスを用いて解剖学的構造上の目印又は場所を選択すること等によって、外科医によって手動で特定され得る。

20

30

【0317】

次に図35を参照すると、企図される代替的な実施態様では、1つの境界ではなく、2つの異なる境界700、702が使用され得る。制御システム60は、ツール駆動モータMのモータステータスを決定し、モータステータスに基づいて境界700、702を選択することができる。この例では、切断の開始時に、鋸刃20は、第1の境界700の境界又は「外側」に近接している。第1の境界700は、解剖学的構造の後方保護を提供するように設計された閉じた境界として実装されるメッシュであり得る。切断が進行すると、駆動モータMは許容状態になる。切断が進行し、ユーザが鋸20を使用して骨を除去することに進むと（鋸刃20は、ガイドモードでロボット位置合わせを介して目標平面TPと位置合わせするように制御される）、ユーザは、最終的に、第1の境界700に到達することができる。制御システム60が、鋸刃20が第1の境界700を貫通している／第1の境界700に到達したと決定したとき、制御システム60は、駆動モータMを制限状態に設定することによって駆動モータMを停止させる。モータステータスのこの遷移時に、すなわち、モータステータスが制限状態にある間に、第1の境界700は、第2の境界702で置き換えられる、換言すれば、制御システム60は、モータステータスが現在制限状態にあると決定し、この制限状態に基づいて、第2の境界702を選択することができる。

40

【0318】

50

駆動モータMが制限状態にある間、駆動モータMは、無効にされ、したがって、ユーザが骨又は軟組織の中へ更に深く切断することを防止する。第2の境界702は、第1の境界700と比較して、より大きい体積を包含し、及び／又はより前方にあり得る。第2の境界702は、第1の境界及び第2の境界が体積的である例では、第1の境界700を包含することができる。鋸刃20が第2の境界702を出た、又は第2の境界702の前方に移動したと制御システム60が決定すると、制御システム60は再び駆動モータのステータスを許容状態に設定する。この結果、ユーザは、鋸刃20がこの第2の境界702の外側になるまで、鋸刃20を骨から離れるように（前方向に）移動させて切断深度を減少させる必要がある。

【0319】

第2の境界702は、鋸刃20が依然として骨の輪郭内にあるが、第1の境界700よりも5mm～10mm浅い切断深度である位置と相関する等、第1の境界700よりも浅い深さにあるように位置することができる。駆動モータステータスが許容状態に戻されると、制御システム60は、第1の境界700に基づいて駆動モータMを再び制御する。制御システム60は、刃20の状態又は姿勢を決定すること、及び境界700、702に対する刃20／ツールの状態又は姿勢を決定することに関して説明されるが、制御システム60は、ツール支持体18又は手持ち部分16の姿勢等の器具14の他の構成要素に基づいて、駆動モータMを制御することができる。この実施態様は、ドリル、タップ、ビット、スクリュードライバ、又はバー等の本発明の外科用ツールとともに使用され得ることが理解されるべきである。

【0320】

図36A及び図36Bを参照すると、代替的な構成では、制御システム60は、例えば切断深度方向の単一の軸に沿った鋸刃20／外科用ツールの位置を考慮する等、単一の次元で第1の境界及び第2の境界を構成することができる。そして、距離パラメータとも称されるこの1次元深度位置値は、第1の境界及び第2の境界についての値／閾値と比較され得る。第1の境界は、第2の境界よりも深いところに存在する。例えば、制御システムは、測定された距離を、本明細書では第1の距離パラメータ800と称される第1の境界と関連付けられた値と比較し、測定された距離が第1の距離パラメータ800と関連付けられた値を超えると、ツール駆動モータMのモータステータスを制限状態に設定することができる（図36Aを参照）。第1の境界の例示的な値は、膝の中心に画定された基準位置の後方15mmとすることができる。駆動モータステータスが制限状態になると、制御システムは、第1の距離パラメータ800と関連付けられた値とは異なる、本明細書では第2の距離パラメータ802と称される、第2の境界又は第2の境界と関連付けられた値に基づいて、駆動モータMを制御することができる。例示的な第2の値は、10mmであり得る。鋸刃20がこの第2の境界の外側にあると決定されると、すなわち、鋸刃20に関連付けられた測定距離が第2の距離パラメータ802に関連付けられた値よりも小さくなると、制御システム60は、モータステータスを再び許容状態に設定することができる。モータステータスが許容状態に変更されると、制御システム60は、第1の距離パラメータ800に対する鋸刃20の位置／姿勢又は状態を再びモニタリングすることができる。

【0321】

これは、より一般的には、制御システム60が、モータステータスに基づいて距離パラメータ800、802を選択し、少なくとも1自由度における外科用ツールの姿勢等の外科用ツールの状態及び選択された距離パラメータに基づいて、ツール駆動モータMを制御するように構成されるものとして理解され得る。距離パラメータは、第1の距離パラメータ800として特徴付けることができ、制御システムは、ツール駆動モータMが許容状態にあるとき、第1の距離パラメータ800を選択するように構成され、制御システム60は、ツール駆動モータMが制限状態にあるとき、第2の距離パラメータを選択するように構成され、第1の距離パラメータ800及び第2の距離パラメータ802は、異なる値である。

【0322】

制御システム60は、深すぎる切断を防止する境界等、ユーザが境界を無効にすることを可能にする機能を提供することができる。境界は、或る特定の外科技術には必要でない場合がある。他の場合には、ユーザは、最初の「バルク除去」切断を実行している間に境界を有効にすることを望むが、境界を無効にして、切断の慎重で強力な完了を可能にすることを望む場合がある。ユーザは、骨の後縁部の1mm～5mm前等の様々な姿勢／位置に境界を設定することができる。したがって、境界が有効にされると、制御システム60は、過剰切除を保護し、境界は、ユーザが切断を完全に完了することを防止することができる。1つの選択肢は、残りの骨片を破断し、手動器具を使用して切断の最後の部分を完了することである。代替として、ユーザは、境界を無効にし、そして、器具14とともに残っている少量の骨を非常にゆっくりと除去することを選択することができる。ロボット器具14を用いた最終除去ステップのために、制御システムは、刃支持体18を目標平面TPと位置合わせさせるように（ガイドモードで動作する）器具14を制御し続けることができ、又は器具14は、ユーザが鋸刃位置決めフルコントロールをしている非ガイドモードをとることができる。

10

【0323】

上述のロボット器具を使用するナビゲートされた処置のワークフローの間、膝全体の処置の間の鋸刃切断等の切断動作を実行する順序に関して、可能な限り多くの柔軟性をユーザに与えることが望ましい。異なるユーザは、彼らの訓練又は過去の経験に依存して、及び潜在的に患者の臨床パラメータに基づいて、特定の順序で切断を行うことを好む場合がある。他の外科医は、脛骨を最初に切除するか、大腿骨を最初に切除するかに関して好みを持つ。このため、制御システムは、必ずしも厳密な切断シーケンスを要求せず、これがユーザによって選択されることを可能にする。骨準備のデフォルト順序は、ユーザ選好画面を通して事前に構成することができ、ワークフローの骨準備ステップに到達すると、外科医は、図1のUI又は他のユーザ入力を使用して、特定の切断を選択し、及び／又は切断間で前方／後方に移動することができる。図37を参照すると、例示的なユーザ入力デバイスがUIの形態で提供されている。UIは、大腿骨に必要とされ得る5つの目標切断面TP、73a～73eのそれぞれと関連付けられるアイコンを提供する。

20

【0324】

しかしながら、制御システム60は、外科処置中に生じる不測事態を管理することができる必要がある。1つのこうした潜在的な不測事態は、器具14、ローカライザ、又はロボットシステム10の他の構成要素が、外科処置中に故障又は損傷した場合にどうなるかである。1つの可能な不測事態のシナリオでは、制御システム60は、回避(bail-out)計画の実行を容易にすることができる。

30

【0325】

非ロボット処置の場合、大腿骨に対して行われる第1の切断は、遠位切断である（図37の73Cに関連付けられたアイコンを参照）。典型的には、髓内ロッドが位置合わせのためにIM管内に配置される。次に、IMロッドを他の器具とともに使用して、遠位大腿骨切除ガイドを配置してピン留めし、次に、遠位大腿骨切除ガイドを使用して遠位大腿骨切断を行う。次に、大腿骨寸法測定器を遠位切断表面上に後方顆に対して配置して、インプラントの寸法及び位置合わせを決定し、4:1切断ブロックの固定ピン穴を穿孔するガイドを提供することができる。4:1切断ブロックは、遠位大腿骨切断表面上に配置され、以前に穿孔された固定ベグ穴に挿入される。最後に、4:1切断ブロック内のスロットを使用して、大腿骨の4つの残りの切断部、すなわち、前方皮質、後方顆、後方面取り部、及び前方面取り部に対して鋸刃を手動で制約する。米国特許第8,382,765号、米国特許出願公開第20200275943号公報、又は「Triathlon Knee System Surgical Protocol」は、それぞれ、引用することによって本明細書の一部をなすものとし、全膝処置の態様を説明している。

40

【0326】

ロボットシステムが切断を実行するために排他的に使用されている場合、技術的には、

50

ユーザは所望の任意の順序で大腿骨切断を実行することができる。しかしながら、不測事態に備えて、ロボットシステム10が処置のいずれかの時点で故障した場合に、ロボット器具14が回避計画（すなわち、上述の手動処置）の実行を妨げるステップを実行しないことが重要である。上述したように、遠位大腿骨切断表面は、外科医が残りの4つの大腿骨切断を手動で行うことを可能にする上で重要な役割を果たす。一実施態様では、4：1切断ブロックが遠位大腿骨切断表面上に設置されると、残りの大腿骨切断を任意の順序で実行することができる。ロボットシステム10が、残りの切断の前に遠位大腿骨切断表面を切断する限り、外科医は、4：1切断ブロックを既に切断された遠位大腿骨表面上に設置し、処置を手動で完了することが依然として可能である。

【0327】

10

代替的な構成では、制御システムは、後方大腿骨切断が大腿骨切断の最後に実施されることを更に必要とする場合がある。したがって、この実施態様では、制御システムは、ユーザが遠位大腿骨切断を最初に実行し、他の3つの大腿骨切断をユーザが選択した順序で行い、そして、後方切断を最後に行うことを必要とする。脛骨切断は、大腿骨切断の前、様々な大腿骨切断のうちの1つの間に挟まれた、又は大腿骨切断の完了後等、制限なしにいつでも行うことができることが理解されるべきである。

【0328】

遠位大腿骨切断が残りの切断の前に行われることを確実にして、上記のワークフローを満たすために、制御システム60は、切断（上記の場合、遠位大腿骨切断）が完了したかどうかを決定する方法を有することができる。切断が完了したかどうかを制御システム60が決定することができる複数の方法がある。1つの単純な方法は、遠位大腿骨切断が、ユーザインタフェースUIである切断73Cと関連付けられたアイコンを介して選択されたかどうかをモニタリングすることであろう。この手法の欠点は、単にUI上で切断を選択することが、必ずしも切断が完全に完了したことを意味しないことである。

20

【0329】

制御システム60は、切断が選択されることに加えて、駆動モータMが起動されたかどうか、及び／又は制御システム60が、選択された切断73Cと関連付けられた目標平面TPに位置合わせするように器具14を制御していたかどうかをモニタリングすることができる。さらに、制御システム60は、タイマモジュールを利用して、切断アイコンが選択されている間に駆動モータMが動作した時間の長さをモニタリングし、任意選択で、その時間の長さを「最小切除時間」閾値と比較して、遠位大腿骨切断に関連するアイコンを完了したものとしてマークすることができる。

30

【0330】

ここで図38を参照すると、上述の実施態様に加えて、制御システム60が、駆動モータMが動作している間に鋸刃20が移動された位置をモニタリングすることが更に可能である。換言すれば、制御システム60は、駆動モータMが動作していた（すなわち、非ゼロ駆動モータ速度、又は電流が駆動モータMによって引き込まれていた）間に鋸刃20が位置していた領域（第1の領域、第2の領域）をモニタリングすることが可能である。これは、低忠実度様式（例えば、除去された骨の粗領域、場合によっては、特定の切断の1つ～8つの領域を追跡する）又は高忠実度様式、例えば、 $1\text{ mm}^3 \sim 5\text{ mm}^3$ の様式等を用いて、ボクセルごとに骨除去を追跡することで行われ得る。骨除去のために使用される骨の表現は、（イメージレスワークフローの）ポイントレジストレーション（近似的に）生成された2D又は3DモデルMODであり得るか、又は代替として、CTスキャンから構築することができる。イメージレスワークフローの場合、粗領域法がより適切であり得る。患者モデルMODは、切断される第1の領域及び切断される第2の領域を含む複数の領域に空間的にマッピングされてもよい。制御システムは、第1の領域のステータス及び第2の領域のステータスを、ツール、ツール支持体、又は手持ち部分の姿勢、及び任意選択的に、駆動モータが所与の電流閾値において動作している（非ゼロ速度）かどうか等の各姿勢におけるモータステータスに基づいて、別個に決定することができる。

40

【0331】

50

代替として、駆動モータのステータスに関係なく、鋸刃 20 が位置していた場所を単にモニタリングすることも可能である。この手法では、刃がそれ自体を骨の内側の場所に提示する場合、刃が動作していたことを合理的に推測することができ、ソフトウェアは、モータステータスを追跡する必要がない場合がある。

【0332】

制御システム 60 は更に、完了した領域の数に基づいて、骨除去の「完了パーセンテージ」を計算することができ、これは、駆動モータが稼働していた間にタッチされたボクセルの数又は何らかの他の測定基準に基づき得る。完了した領域は、その切断の領域の総数と比較され得る。図 38 に示す例では、2 つの領域が存在する。第 2 の領域は、UI 上で完了済みとマークされ、斜めの塗りつぶし線で示されている。第 1 の領域は、完了済みとしてはマークされておらず、斜めの塗りつぶし線がないことで示されている。制御システム 60 は、ユーザ入力デバイス UI 又はディスプレイ上に切断完了ステータス及び／又は除去された割合を示すことができる。制御システムが、特定の切断が完了したと決定したとき、上記及び下記の戦略に基づいて、ユーザ入力デバイス UI は、チェックマークを示すか、又は図 38 に示されるもの以外に、陰影付け、着色等によって、切断選択アイコンにグラフィカル更新を提供することができる。

10

【0333】

制御システム 60 は、完了パーセンテージが、高忠実度システムに対して 80 % 以上、又はイメージレスシステムに対して 50 % 等、所与の領域に対してシステムによって設定された閾値を超えるとときに、領域を完了として指定することができる。この例では、第 1 の領域はまだ完了済みとは示されていない。さらに、制御システムは、切断の領域（第 1 の領域）が完了していないので、切断が完了済みであることを示さない。

20

【0334】

制御システム 60 はまた、ユーザが、ユーザ入力デバイス UI に基づいて、特定の切断の完了ステータスを手動でオーバーライドし、UI 上のオーバーライドアイコンを選択すること等によって、切断を完了済みとしてマークすることを可能にすることができる。制御システム 60 は、ユーザが回避計画の実行を不注意に妨げないように、意図的なユーザアクション又は確認を必要とする方法でこの機能を実装することができる。多くの場合、ロボット手術では、外科医は、システムによって追跡されない手動器具を更に使用して、骨及び／又は組織を除去するので、これは望ましい場合がある。

30

【0335】

別の例示的な実施態様では、図 10 を参照すると、制御システム 60 は、器具 14 が非ガイドモードにある間、すなわち、アクチュエータが鋸刃 20 を目標平面 TP 又は目標軸に位置合わせしていない間、鋸刃 20 又は他の外科用ツールの状態を追跡することができる。また、この非ガイドモードにある間、骨除去を追跡し、これを基準の一部として使用して、切断が完了したかどうかを決定することが望ましい場合がある。複数のアクチュエータが鋸刃 20 を目標平面 TP にロボットで位置合わせしていない場合であっても、ローカライザ 44 は依然としてアクティブであり、制御システム 60 は、骨 F、T に対する鋸刃 20 の状態又は姿勢、及び駆動モータ M が動作しているかどうかをモニタリングし続け、この情報を使用して処置ステータスを決定することができる。より具体的には、制御システム 60 は、器具 14 が非ガイドモードにある間、駆動モータ M のステータス及び刃 20 の姿勢を利用して、領域を完了済みとしてマークすることができる。代替として、制御システムは、器具が非ガイドモードにある間、駆動モータのステータスを伴わずに刃の姿勢を利用して、領域を完了済みとしてマークすることができる。非ガイドモードでは、制御システム 60 は、目標平面 TP 上又はその近傍に位置しない骨除去を無視することができる。制御システム 60 は、鋸刃 20 が所望の切断面 TP から 2 mm ~ 5 mm 等の或る特定の距離を超えた場合（駆動モータ M が動作しており、鋸刃 20 の状態が目標平面 TP から閾値距離及び／又は閾値角度だけ離隔している場合）、骨除去を無視するように構成することができる。切断面に対する鋸刃 20 の位置合わせは、非ガイドモードではいくらかの不正確さを有する可能性があるため、制御システム 60 は、TCP が目標平面に近い場

40

50

合の骨除去評価のために、鋸刃 20（又は鋸刃の切断部分）の幾何学的形状を所望の切断面上に投影すること、例えば、切断面上に刃の幾何学的形状によって映じる「影の形」を決定することを望む場合がある。

【0336】

ガイドされない骨除去を追跡することが有益であり得る 1 つの場合は、ユーザが器具 14 を用いて切断し、切断の後部で仕上げ又は清掃しているときである。この状況では、特定の切断が、ユーザ入力を使用して、又は自動的に選択され、ユーザは、（鋸刃位置合わせが、除去される骨の切り口によって或る程度機械的に制約されるため）所望の切断面又はその近傍で骨を除去している。制御システム 60 が、駆動モータ M が動作している（かつ器具 14 が非ガイドモードにある）と決定している間に、制御システム 60 が、骨が除去されていると決定する場合、制御システム 60 が、切断が完了したかどうか、又は 1 つ以上の領域が完了したかどうか等の処置ステータス決定を補完するために、本情報を利用することは、理にかなっている可能性がある。

10

【0337】

加えて、制御システムが、上述の方法を使用して遠位大腿骨切断が完了済みであると決定したとき、制御システムは、遠位切断が完了したと制御システムが決定したとき等に、残りの 3 つ又は 4 つの大腿骨切断の選択を可能にする等、ワークフロー内の他の経路を「開く」か又は有効にすることができる。上述したように、いくつかの実施態様では、制御システムは、後大腿骨切断が最後に実行されることを要求することによって、ワークフローを更に制限することができる。この実施態様では、制御システムは、残りの大腿骨切断のうちの 3 つを開くか又は有効にすることを可能にし得るが、遠位大腿骨切断の後に他の 3 つの切断が実行されるまで、後方大腿骨切断を可能にしない。

20

【0338】

制御システムはまた、1 つ以上の切断の処置ステータスに基づいて、脛骨インプラント位置合わせワークフローステップ、大腿骨インプラント位置合わせ、又は膝位置合わせワークフローステップを可能にし得る。制御システムは、どの切断が完了したかを決定することができるので、制御システムは、ユーザの予想されるワークフローの好みを予想／反応することができる。例えば、制御システムは、ワークフローをガイドし、完了した切断に基づいて適切なワークフローステップを提示し、及び／又は或る特定の切断が完了するまで或る特定のワークフローステップへのアクセスを防止することができる。換言すれば、制御システムは、処置ステータスに基づいて鋸刃の第 2 の目標姿勢を選択する能力を制限することができ、第 2 の目標姿勢は第 2 の計画された切断に関連付けられる。鋸刃の第 1 の目標姿勢は、遠位大腿骨切断と関連付けられてもよく、第 2 の目標姿勢は、以下の切断、すなわち、前方皮質切断、後方顆切断、後方面取り切断、又は前方面取り切断のうちの 1 つと関連付けられる。

30

【0339】

第 1 の目標切断部は、切断される第 1 の領域と、切断される第 2 の領域とを含み、第 1 の領域は、第 2 の領域から空間的に分離されている。制御システムは、第 1 の領域のステータス及び第 2 の領域のステータスに基づいて処置ステータスを決定するように構成される。制御システムは、第 1 の領域及び第 2 の領域のステータスを、ツール、手持ち部分又は刃支持体の姿勢及び各姿勢でのモータステータスに基づいて別々に決定するように構成される。制御システムは更に、第 2 の時間におけるツール、刃支持体、又は手持ち部分の姿勢を決定し、第 1 の時間における刃支持体又は手持ち部分の姿勢及びモータステータスに基づいて、第 1 の領域のステータスを決定し、第 2 の時間の刃支持体及び手持ち部分の姿勢並びにモータステータスに基づいて、第 2 の領域のステータスを決定するように構成することができる。

40

【0340】

特定の切断の選択は、マウス又はタッチスクリーン等のユーザ入力デバイスを使用した切断の手動選択を通じて、（器具の動き／器具の姿勢を介した）自動選択を通じて、又は処置ステータス情報、すなわち特定の切断が完了したか否かを使用してワークフロー内の

50

次の切断に自動的に進むことができる所定の順序を通じて等、様々な方法で達成することができる。

【0341】

図1を参照すると、ロボットシステム10が、処置における1つ以上の態様を追跡するために光学トラッカを利用するとき、光学トラッカの視界にギャップが生じ得ることが一般的である。これは、手動器具、外科的破片、灌流流体の飛散、軟組織、又はユーザ／助手の腕／手からの瞬間的な障害物に起因する可能性がある。ほとんどの場合、視界の喪失は短期間であり、迅速に解消する。他の場合では、視界の妨害がより長くなることがあり、制御システム60に駆動モータMを無効にさせて、誤った位置での外科用ツール20による切断を防止する等、システムが精度を保つために適切な緩和を行うことを必要とする。制御システム60は、制御システム60が外科処置を不必要に中断することなく短い遮断事象を可能にするように実装される。

10

【0342】

例えば、処置中に、トラッカ52、54、56のうちの1つがちょうど視界の端にある場合があり、その場合、ローカライザは、遮断された追跡ステータスと遮断されていない追跡ステータスとの間で迅速に切り替える。制御システム60は、駆動モータMのオン及びオフを迅速に切り替えることによってユーザを苛立たせない方法を実装すべきである。制御システムは、遮断事象に基づいてツール駆動モータを制御するように構成することができる。

【0343】

20

1つの可能な実施態様では、制御システム60は、ツールトラッカ52又は患者トラッカ54、56等のシステム内のトラッカ52、54、56の追跡ステータスが遮断されていないと決定することができる。この時間の間、制御システム60は、アクチュエータアセンブリを制御して、ユーザがトリガ又は他のユーザの入力デバイスFSを押して、骨を除去している間に、鋸刃を目標平面に位置合わせすることが可能である。処置のこの時点で、トラッカ52、54、56のうちの1つ以上の追跡ステータスが、非遮断ステータスから遮断ステータスに変化する可能性がある。この視界喪失の期間を解決するために、制御システム60は、1つ以上のトラッカ姿勢が前の時間ステップのそれらの前の値から変化していないと仮定するように構成することができる。システムはまた、下流制御算出を実行し続けるように構成することができ、したがって、追跡ステータスが遮断されるとき、指令姿勢が完全に一定のままであることは、必ずしも真ではない。換言すれば、手持ち部分に対する鋸刃の姿勢は、トラッカ52、54、56のうちの1つ以上が遮断された追跡ステータスを有する場合であっても、動き続けることができる。上述した様々な制約の硬直性は無限ではなく、制御システム60は、プラットフォームを所与の目標平面に沿って動かすために複数の時間ステップを要することがある。

30

【0344】

モータステータス及び追跡ステータスに基づいて、制御システムは、第1の駆動モータ制御基準及び第2の駆動モータ制御基準のうちの一方を選択することができ、第1の駆動モータ制御基準は、第1の期間を含み、第2の駆動モータ制御基準は、第2の期間を含み、第1の期間は、第2の期間と異なる。制御システムは、選択された駆動モータ基準に基づいてツール駆動モータを制御することができる。

40

【0345】

第1の期間の間、制御システム60は、駆動モータMが許容状態のままであることを許容する、すなわち、駆動モータMがこの最初の遮断にもかかわらず動作し続けることを可能にする。しかしながら、或る時点で、第1の期間の後に、ローカライザ44が、1つ以上のトラッカ52、54、56が遮断された追跡ステータスを有すると決定し続ける場合、制御システム60は、鋸刃を目標平面に位置合わせするように複数のアクチュエータを制御し続けるのに十分な位置特定情報を有していない。

【0346】

第1の期間、すなわち、1つ以上のトラッカ52、54、56の追跡ステータスが遮断

50

されている状態で制御システム60が動作し続ける時間の長さは、10ms、20ms、又はそれ以上等、様々であり得る。制御システム60はまた、追跡ステータスが非遮断状態から遮断状態に変化する前に、特定のトラックについてローカライザからの新しい値の或る特定の数の連続したサンプルを必要とすることがある。この場合、制御システム60が10ミリ秒連続して全てのトラック52、54、56の位置特定データを受信しない場合、制御システム60は、駆動モータステータスを制限状態に変更するように、すなわち駆動モータMが動作するのを防止するように動作することができる。しかしながら、10msが経過する前である場合、第1の期間を追跡するタイマは、トラック更新の有効なセットが受信されるときはいつでもリセットされ得て、制御システムは、モータステータスが許容状態のままとなるように、駆動モータを制御し続ける。1つ以上のトラック52、54、56の追跡ステータスに応答してモータステータスを変更することに加えて、制御システム60は、UI又は他のインジケータを制御して、駆動モータMがなぜ停止したか、すなわち、1つ以上のトラックの追跡ステータスに起因して停止したかに関してユーザに警告することができる。

10

【0347】

制御システム60がモータステータスを制限状態に設定すると、制御システム60は、モータステータスを許容状態に戻す遷移を管理する際に異なる方法で構成することができる。1つの方法は、制御システム60が、ローカライザ44が1つ以上のトラックから追跡データを受信するとすぐに、例えば、全てのトラックの追跡ステータスが遮断されていないときに、モータステータスを再び許容状態に設定することである。この実施態様は、ユーザにとって迅速な回復という利点を有するが、駆動モータMの適度な量のオン／オフのサイクルをもたらすことができる。

20

【0348】

別の実施態様では、制御システム60は、モータステータスを許容状態に遷移させて戻す前に、1つ以上のトラック52、54、56の追跡ステータスが第2の期間にわたって遮断されないままであることを要求することができる。第2の期間は、任意選択的に、第1の期間と同じであり得る。この手法の利点は、駆動モータのオン／オフのサイクルの量を低減することであり、第2の期間中にいずれかのトラック52、54、56の追跡ステータスが遮断された場合、タイマが再始動し、制御システム60はモータステータスを制限状態に維持し続ける。

30

【0349】

1つの追加の手法では、第2の期間は、第2の期間を100ms又は更には1秒の持続時間を有するものとする等、第1の期間よりも大きくてもよい。これは、回復時間を増加させるが、駆動モータMの動作を再開する前にトラックの視界が信頼できることを保証するのに役立つ。この手法の考え方は、制御システム60がモータステータスを制限状態に設定した後、モータステータスを許容状態にリセットして戻す前に、視界が良好であることを実際に確認することである。これは、ユーザがリセットし、後続の無効化事象の変更を低減するのを助けるリマインダであり得る。

【0350】

更に別の例示的な実施態様では、図39A～図39Cを参照して上述したように、制御システム60は、異なるセンタリング位置をとるように複数のアクチュエータを制御することができる。ガイドモードにある間、制御システム60は、鋸刃が所望の切断面と位置合わせされるように複数のアクチュエータを制御する。非ガイドモードにある間、複数のアクチュエータは、複数の各アクチュエータがそれらの位置を予め規定されたセンタリング位置のセットに維持するように制御されるように制御される。この非ガイドモードでは、器具14は、そのホーム状態（図39Cを参照）に位置決められてもよく、ホーム状態は、複数のアクチュエータのそれぞれがその予め規定されたセンタリング位置にあるときに生じる姿勢である。制御システム60は、それぞれガイドモード又は非ガイドモードに入るために入力信号に応答することができる。これは、システムによって可能にされない或る特定の領域に到達する、軟組織をきれいにする等のために、制御システムが、全膝処

40

50

置を実行するワークフローの間又は特定の切断の間の異なる時点でユーザ選択から展開する或る特定の入力信号に応答することができるためである。器具 14 がホーム状態にあるとき、器具 14 は、従来の電動ツールと同様に感じられ得る。したがって、いくつかの状況では、非ガイドモードへの遷移の要望を示す入力信号を受信したときに、ガイドモードでツール支持体によってとられている姿勢、すなわち、器具の初期状態（図 39 A 及び図 39 B を参照）から移動するために、制御システムは、アクチュエータアセンブリの 1 つ以上のアクチュエータがそれらのホーム（又は予め規定された）位置に戻って、最終的に器具 14 をそのホーム状態（図 39 C）に戻すように、複数のアクチュエータを制御する必要がある得る。

【0351】

しかしながら、ユーザがガイドモードから非ガイドモードに、又はその逆に切り替えることを可能にすることが望ましくない或る特定の時間があり、制御システム 60 は、場合によっては、器具 14 をモニタリング及び制御して、それに応じてユーザ挙動に影響を及ぼすことができる。

【0352】

1 つの例示的なシナリオでは、鋸刃 20 は、特定の切断部内に深く位置することができる。ガイドモードでの動作中にロボット位置合わせが行われている間、ユーザは、手持ち部分 16 を、器具 14 がそのホーム状態にあるときのツール支持体 16 の位置から 15 度～30 度等の相当量だけツール支持体 18 からオフセットさせてもよく、器具 14 の可動域に応じて、アクチュエータは、依然として、鋸刃 20 を目標平面に位置合わせさせることが可能であり得る。この状態では、制御システム 60 が、器具 14 がホーム状態に遷移することを可能にする場合、それは、手持ち部分 16 の有意かつ潜在的に突然又は予想外の動きをもたらし得る。

【0353】

こうした実施態様では、制御システムは、器具のホーム状態に関連付けられた位置に複数のアクチュエータを移動させたいという要望を示す受信された入力信号に基づいて、器具の初期状態を決定することができる。制御システムは、器具の初期状態に基づいてシステムを制御するように更に構成することができる。例えば、制御システムは、UI 等のインジケータを用いて初期状態に基づいてユーザに指標を提供するように構成されることによって、システムを制御するように構成することができる。指標は、触覚アラート、視覚アラート、又は音声アラートであり得る。制御システムが器具の初期状態に基づいてシステムを制御し得る別の方法は、初期状態が姿勢又はアクチュエータ位置又は角度の所与の範囲外である場合、駆動モータを停止させること等によって、器具の初期状態に基づいて駆動モータを制御することによるものである。

【0354】

初期状態は、ホーム状態と同様に、関節のそれぞれの角度等の関節空間において、アクチュエータの位置等のアクチュエータ空間において、又は手持ち部分に対するツール支持体の姿勢に基づいて、直交座標空間において算出され得る。初期状態は、コントローラが、複数のアクチュエータを器具のホーム状態と関連付けられた位置に動かしたいという要望を示す入力信号を受信するとき、又は入力信号が受信された後の固定期間等の任意の好適な時間後に決定され得る。初期状態は、初期状態がどのように計算されるかに応じて、現在の測定された、以前に測定された、指令された、又は以前に指令された角度、姿勢、又は位置に基づいて計算され得る。

【0355】

1 つの例示的な制御実施態様では、図 40 及び図 41 を参照すると、制御システム 60 は、仮想オブジェクト（図 40 を参照）又は距離パラメータ（図 41）に基づいて、かつ器具 14 をホーム状態に遷移させる要望を示す入力信号に基づいて、器具 14 の複数のアクチュエータを制御することができる。非ガイドモードへの遷移は、ホーム状態への遷移を含み得るが、必ずしもそうする必要はないことが理解されるべきである。換言すれば、いくつかの実施態様では、非ガイドモードに入るように UI を選択することによって、制

10

20

30

40

50

御システムは、当然ながら、器具がホーム状態をとるように制御することもできる（上記及び下記の条件に従うが、そうする必要はない）。

【0356】

例えば、図40を参照すると、制御システム60は、鋸刃20の状態が定義された境界又は切断領域内にある場合、例えば、鋸刃が、膝又は他の基準位置を中心とする球体等の、任意選択的に膝又は患者トラックを中心とする仮想オブジェクト1000内にある場合、ガイドモードから非ガイドモードに遷移する要求を拒否することができる。ユーザが、ユーザ入力UIを通して、仮想オブジェクト1000内で非ガイドモードに遷移することを所望することを示す場合、システムは、UIを通して、変更が拒否されることをユーザにアラートし、制御システム60は、複数のアクチュエータを制御し続け、鋸刃を選択された目標平面と位置合わせさせる。代替として、制御システム60は、ユーザ入力信号及び仮想オブジェクト1000に基づいて駆動モータMを制御することができ、例えば、駆動モータを停止し、動作を再開するためにトリガ又はフットペダルを解放して再び押すようにユーザに要求し、場合によっては、システムのステータスについての更なる情報を求めてディスプレイを見るようにユーザに合図することによって制御することができる。この実施態様では、ユーザは、制御システム60が複数のアクチュエータを制御して、ツール支持体18を器具のホーム状態に関連付けられたその姿勢に戻るよう動かす前に、鋸刃20が仮想オブジェクト1000の外側にあるように手持ち部分16を動かすことを要求される。仮想オブジェクト1000のサイズ及び位置は、仮想オブジェクト1000の外側にある鋸刃20の姿勢が解剖学的構造から十分に離れており、その結果、手持ち部分16又は鋸刃20のその後の動きが、患者の解剖学的構造に干渉しないように十分なクリアランスを有するように選択される。

【0357】

図41を参照すると、距離パラメータDP5は、仮想オブジェクト1000を模倣するように設定することができる。換言すれば、制御システム60は、鋸刃20の状態が基準位置RLの距離パラメータDP5内にある場合、ガイドモードから非ガイドモードへの遷移要求を拒否することができる。代替として、システムは、外科用ツール、手持ち部分、又はツール支持体の姿勢が基準位置の距離パラメータDP5内にあることに基づいて、遷移を拒否することができる。刃と基準位置との間の測定された距離が距離パラメータDP5未満である間に、ユーザが非ガイドモードへの遷移を望むことをユーザ入力デバイスを通じて示す場合、システムは、変更が拒否されることをUIを通じてユーザに警告し、制御システム60は、鋸刃／外科用ツール20を選択された目標平面と位置合わせするように複数のアクチュエータを制御し続ける。代替として、制御システム60は、ユーザ入力信号及び測定された距離に基づいて駆動モータMを制御することができ、例えば、駆動モータを停止し、動作を再開するためにトリガ又はフットペダルを解放して再び押すようにユーザに要求し、場合によっては、より多くの情報を求めてディスプレイを見るようにユーザに合図する。この実施態様では、ユーザは、制御システム60が複数のアクチュエータを制御してツール支持体18を器具14のホーム状態に関連付けられたその姿勢に戻す前に、基準位置までの鋸刃20の測定距離が距離パラメータDP5よりも大きくなるように、手持ち部分16を動かす必要がある。距離パラメータDP5の大きさは、距離パラメータDP5よりも大きい距離にある鋸刃20の姿勢が解剖学的構造から十分に離れて、手持ち部分16又は鋸刃20のその後の動きが患者の解剖学的構造に干渉しないように十分なクリアランスを有するように選択される。

【0358】

別の例示的な実施態様では、制御システム60は、器具の初期状態とホーム状態との位置合わせの程度に基づいて器具をホーム状態に移動させたいという要望を示す入力信号に基づいて、複数のアクチュエータを制御するように構成することができる。制御システムは、位置合わせの程度を閾値と比較し、入力信号の受信に応答して、こうした比較に基づいて複数のアクチュエータを制御することができる。

【0359】

10

20

30

40

50

位置合わせの程度は、初期姿勢から器具のホーム状態と関連付けられる姿勢にツール支持体を動かすために関節のそれぞれに必要なとされる動きの角度等の関節空間内で、初期姿勢におけるそれらの初期位置及び器具のホーム状態における位置から移動するためにアクチュエータのそれぞれに必要なとされる距離等のアクチュエータ空間内で算出され得る。これは、器具の初期状態における複数のアクチュエータのうちの少なくとも1つのアクチュエータの位置と、器具がホーム状態にあるときの少なくとも1つのアクチュエータの位置とを決定することによって、位置合わせの程度を算出することを含み得る。

【0360】

代替として、位置合わせの程度は、ロール、ピッチ、及び仰角の閾値に対するロール、ピッチ、又は仰角の自由度の調整量等、直交座標空間で算出することができる。これは、器具が初期状態にある間のツール支持体及び／又は手持ち部分の姿勢と、器具がホーム状態にある間のツール支持体又は手持ち部分の姿勢とに基づいて決定され得る。位置合わせの程度が閾値を超える場合、制御システム60は、鋸刃20が目標平面との位置合わせを維持するように、複数のアクチュエータを制御し続けることができる。制御システム60はまた、ツール支持体と手持ち部分との間の位置合わせの程度に基づいて、インジケータをユーザに提供すること等によって、制御システム60が器具をホーム状態に遷移させる要求を拒否した理由をユーザに通知することができる。インジケータは、位置合わせの程度に基づいて、触覚アラート、視覚アラート、又は音声アラートを提供することができる。そして、ユーザは、器具14のホーム状態に相応するツールプラットフォームに対する手持ち部分の姿勢とより厳密に位置合わせされるように、ツールプラットフォームに対して手持ち部分16を再位置決めすることができる。

【0361】

再び図40を参照すると、制御システム60は、器具14をホーム状態に遷移させたいというユーザの要望を示す入力信号を受信することに応答して、仮想オブジェクト1000の姿勢／形状及び位置合わせの程度の両方に基づいて、ホーム状態への遷移を制御する等、両方の実施態様を組み合わせるように構成されることも可能であろう。場合によっては、制御システム60は、条件が満たされると、ホーム状態への遷移を遅延させるように構成することができる。換言すれば、制御システム60は、器具14をホーム状態に遷移させたいというユーザの要望を示す信号を再開する前に、予め規定された期間待機することができる。

【0362】

別の実施態様では、制御システム60は、器具をガイドモードから、器具がホーム状態をとる非ガイドモードに遷移させたいというユーザの要望を示す入力信号を制御システム60が受信したときに、異なる挙動をするように複数のアクチュエータを制御することができる。例えば、制御システムは、関節／アクチュエータが非常にゆっくりと／滑らかに／徐々に動いて、器具14をその初期姿勢からそのホーム状態に位置合わせするように、動き又は調整パラメータを変更することができる。こうした場合、制御システム60は、関節／アクチュエータが非常に徐々に移動するので、鋸刃の姿勢又は位置合わせの程度を必ずしもモニタリングする必要はない。最適な切断精度のためには、関節／アクチュエータがガイドモードで迅速に移動することが重要であるが、関節／アクチュエータがガイドモードから非ガイドモードに遷移しているときには、関節／アクチュエータがゆっくりと移動すれば十分である。制御システム60が、器具を非ガイドモードからガイドモードに遷移させたいというユーザの要望を示す更なる入力信号を受信すると、制御システムは、動き又は調整パラメータを、応答性があり、高速で、正確な関節／アクチュエータの動きのより積極的な設定に戻すように調整することができる。

【0363】

こうした例では、制御システムは、外科用ツール、手持ち部分、又はツール支持体のうちの1つの姿勢を決定し、ガイド制約調整パラメータを生成することができ、ガイド制約調整パラメータは、第1の値を有する。制御システムは、複数のアクチュエータのうちの少なくとも1つの位置と、複数のアクチュエータのうちの少なくとも1つのアクチュエー

タのセンタリング位置と、関節センタリング調整パラメータとに基づいて、関節センタリング制約を生成するように更に構成され得る。関節センタリングパラメータは、ガイド制約調整パラメータに対する調整パラメータの値とは異なる第2の値を有することができる。制御システムは、システムがガイドモードで動作している間に、ガイド制約に基づいて複数のアクチュエータのそれぞれの指令された関節位置を決定することができる。制御システムはまた、制御システムが非ガイドモードに遷移させたいというユーザの要望を示す入力信号を受信したとき等、非ガイドモードにあるときに関節センタリング制約に基づいて関節指令位置を決定することができる。

【0364】

制御システムが入力信号を受信したときにガイドモードにある場合、制御システムは、入力信号を受信したときに関節センタリング制約をアクティブ化し、ガイド制約を非アクティブ化することができる。一方、制御システムがガイドモードに入りたいという要望を示す入力信号を受信した場合、制御システムは、関節センタリング制約を非アクティブ化し、ガイド制約をアクティブ化することができる。いくつかの構成では、関節センタリング制約及びガイド制約のうち的一方のみが一度にアクティブであり得ることが理解されるべきである。

【0365】

さらに、図42を参照すると、制御システム60は、ガイドモードから非ガイドモードに又はその逆に遷移させたいというユーザの要望を示す入力信号等の入力信号の受信に基づいて1つ以上の制約に対して経時的に調整パラメータを調整するように構成することができる。図42のT_iは、非ガイドモードからガイドモードに遷移させたいというユーザの要望を示す入力信号を制御システムが受信する時間に関連付けられる。例えば、ガイド制約の1つ以上の調整パラメータは、時間の関数によって定義され得る。調整パラメータの大きさ(図42の時間T₁及びT₂に関連付けられた硬直性値を参照)は、入力信号の受信からの時間量が受信されるにつれて、より大きく又はより小さくなり得る。これは、第1の時間(T₁)においては手持ち部分16に対するツール支持体18のより積極的でない／より遅い動きをもたらし、第2の時間(T₂)においてはツール支持体のより積極的な／より速い動きをもたらす。換言すれば、調整パラメータの異なる値は、時間とともにブレンドされる。

【0366】

関節センタリング制約の調整パラメータも、時間の関数として定義され得ることが理解されるべきである。こうした実施態様では、関節センタリング制約の硬直性は、ガイドモードから非ガイドモードへ遷移させたいというユーザの要望を示す入力信号を受信した後、経時的に増加することがあり、それは、最初に、より積極的でない動きをもたらし、後に、ツール支持体のより積極的な／より速い動きをもたらす。

【0367】

図43を参照すると、制御システム60は、手持ち部分16に対するツール支持体18の速度を制限するように構成され得る。1つの特定の構成では、手持ち部分16に対するツール支持体18の速度は、3自由度等の1以上の自由度で制限されてもよい。制御システム60は、器具をガイドモードからホーム状態に遷移させたいというユーザの要望を示す入力信号を受信したことに応答して、手持ち部分16に対するツール支持体18の速度を更に制限するように構成され得る。換言すれば、制御システム60は、制御システムが第1の速度閾値V_{T1}に従ってガイドモードで器具を動作させているときに、手持ち部分に対するツール支持体の速度を制限することができる。この第1の速度閾値V_{T1}は、通常動作に関連付けることができる。速度は、指令速度、測定速度、過去の指令速度、又は過去の測定速度であり得る。

【0368】

第1の速度閾値の値は、ツールを目標姿勢に維持するために、アクチュエータの高速かつ応答性の動きを要求する通常動作の間、器具の機能を妨害しないように設定することができる。第1の速度閾値のこの値は、通常、制御システムが誤動作し、ツール支持体を意

10

20

30

40

50

図しない速度で手持ち部分に対して不注意に移動させた誤差シナリオを捕捉するであろう。制御システムは、制御システムがガイドモードで動作している間の器具の通常動作中に、算出された指令速度を第1の速度閾値まで低減することができる。

【0369】

制御システムは更に、器具をそのホーム状態又は他のモード遷移に遷移させて戻したいという要望を示す入力信号に基づいて、第2の速度閾値VT2に従って、手持ち部分に対するツール支持体の速度を更に制限するように構成することができる。制御システムは、制御システムが非ガイドモードで動作している間、及び／又は器具のホーム状態に遷移している間に、算出された指令速度を第2の速度閾値まで減少させることができる。この第2の速度閾値VT2は、器具がそのホーム状態に向かって移動し始めるときに、ユーザが器具の挙動に驚かないように、第2の速度閾値VT2が、ユーザによって容認可能な速度で手持ち部分に対して移動するツール支持体をもたらしために十分であるように、第1の速度閾値VT1より低くすることができる。図43では、Tiは、制御システム60が、器具をそのホーム状態に遷移させて戻したいという要望を示す入力信号を受信した時間を示す。ステップ関数が示されているが、任意の適切な関数タイプが企図される。さらに、第1の速度閾値は、第2の速度閾値よりも150%、200%、又は300%大きくてもよい。加えて、制御システムが非ガイドモードからガイドモードに切り替わるとき等、他の状態又はモード遷移中に異なる速度閾値が使用されてもよく、その場合、同様の第1の速度制限閾値及び第2の速度制限閾値が、同様の効果を達成するために利用されてもよい。

【0370】

駆動モータの無効化及び再有効化に関して本明細書に記載された様々な条件の一部又は全部は、実際のシステムにおいて組み合わせることができることに留意されたい。1つの典型的な方法は、悪条件の「いずれか」が存在する場合に状態Bに遷移し（すなわち、駆動モータを無効にし）、悪条件の「全て」が解決された場合にのみ状態Aに遷移して戻る（すなわち、駆動モータが再び動作することを可能にする）ことである。

【0371】

（滅菌）

いくつかの構成では、手持ち式ロボット外科用器具14は、その後の再使用のために使用後に滅菌されるように構成される。特に、器具14は、任意の適切な滅菌プロセスに供され得る。例えば、器具14は、低温滅菌プロセス（例えば、過酸化水素滅菌であるが、これに限定されない）に供され得る。

【0372】

図45～図48Bを参照すると、ロボットシステム10は、滅菌容器1200を含む。滅菌容器1200は、過酸化水素等の滅菌剤が滅菌容器1200に入り、残留滅菌剤が滅菌容器1200を出て、滅菌容器1200の内容物を滅菌することを可能にするように形成される。滅菌容器1200は、互いに結合する基部1202及び蓋1203（図48A及び図48Bに示す）を含むことができる。したがって、滅菌容器1200は空隙1204を画定する。他の構成では、滅菌容器1200は、滅菌容器1200内に取外し可能に受容されるようにサイズ決定された取外し可能なトレイ1205を含むことができる。同様に、取外し可能なトレイ1205は、空隙1204の態様を画定する特徴を含むことができる。空隙1204は、器具14を受容し、滅菌プロセス中に器具14を支持するように構成することができる。いくつかの構成では、滅菌容器1200が滅菌装置内の過剰な空間を占有しないように、滅菌容器1200のサイズを最小化することが望ましい。しかしながら、滅菌容器1200のサイズを低減することは、課題を提示する。特に、器具14は、滅菌プロセスを容易にするために、空隙1204内に適合する必要がある。具体的には、器具14の寸法が、滅菌容器1200又はトレイ1205の空隙1204内に嵌合しないようなものとなる姿勢であって、外科処置の実施中に器具14によって達成され得る手持ち部分16に対するツール支持体18の様々な姿勢が存在する。例えば、アクチュエータ21、22、及び23が完全に延伸されると、器具14は、空隙1204内に嵌合

しない場合がある。したがって、器具 14 は、器具 14 が滅菌プロセスを受けることができるように、器具 14 が空隙 1204 内に嵌合する滅菌姿勢 1206（図 46B に示される一例）に移動することが必要とされ得る。

【0373】

一例では、器具コントローラ 28 及び／又はナビゲーションコントローラ 36 等の制御システムは、少なくとも作業モード及び滅菌モードで器具 14 を動作させるように構成することができる。作業モードでは、制御システムは、ツール 20 が所望の切断面等の目標仮想オブジェクト 184 と位置合わせされるように、アクチュエータアセンブリ 400 が手持ち部分に対してツール支持体 18 を動かすように、器具 14 を制御することができる。したがって、作業モードで動作しているとき、器具 14 は、手持ち部分 16 に対してツールの支持体 18 を動かして、手持ち式ロボット外科用器具が空隙 1204 内に受容され得ないように器具 14 が（1つ以上の寸法において）サイズ決定される姿勢にすることが可能である。一方、滅菌モードでは、制御システムは、アクチュエータアセンブリ 400 が、器具 14 が滅菌容器 1200 の空隙 1204 内に嵌合し、滅菌プロセスを促進する、又は滅菌容器 1200 内に配設される取外し可能なトレイ 1205 内に嵌合するために好適な滅菌姿勢（参照番号 1206 によって示されるような）に、手持ち部分 16 に対してツールの支持体 18 を動かすように、器具 14 を制御することができる。

【0374】

1つの構成では、図 46A～図 47B を参照すると、制御システムが、滅菌モードに入る指令、すなわち滅菌指令を器具 14 に送信すると、アクチュエータアセンブリ 400 の 1つ以上のアクチュエータは、器具 14 の寸法（高さ、長さ、及び／又は幅等）のうちの少なくとも 1つが低減されて（図 46B に示す）、器具 14 が滅菌容器 1200 の空隙 1204（図 47A 及び図 47B に示す）内に嵌合することを可能にするように、手持ち部分 16 に対してツールの支持体 18 を後退させる。例えば、滅菌モードの 1つの構成では、制御システムは、アクチュエータアセンブリ 400 のアクチュエータ 21、22、23 のうちの少なくとも 1つが、第 2 の位置の 25% 以内を超えて延在しないように、アクチュエータを制御する。したがって、滅菌指令に従うと、器具 14 の 1つ以上の寸法（高さ、長さ、及び／又は幅等）は、器具 14 が滅菌容器 1200（図 47A 及び図 47B に示す）又は取外し可能なトレイ 1205 の空隙 1204 内に受容されるようにサイズ決定されるように低減される。少なくとも 1つのアクチュエータを動かすことを超えて、アクチュエータアセンブリ 400 のアクチュエータ 21、22、23 のうちの少なくとも 2つ又は少なくとも 3つは、器具 14 の寸法のうちの 1つ以上が低減され、器具 14 が空隙 1204 内に受容されるようにサイズ決定されるように、移動され得ることが理解されるべきである。

【0375】

加えて、第 2 の位置に対する少なくとも 1つのアクチュエータの様々な位置は、器具 14 が空隙 1204 内に受容されるようにサイズ決定されるように、器具 14 の少なくとも 1つの寸法を低減させるために十分であり得ることが理解されるべきである。例えば、いくつかの構成では、少なくとも 1つのアクチュエータは、第 2 の位置の 0%、5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、又は更には 50% 以内を超えて延在しなくてもよい。最終的に、滅菌モードにあるとき、制御システムは、空隙 1204 内に嵌合する器具 14 の姿勢等、器具 14 の滅菌を促進するために好適な滅菌姿勢に、手持ち部分 16 に対してツールの支持体 18 を動かすように構成されることが理解されるべきである。

【0376】

しかしながら、他の構成では、滅菌容器 1200 のサイズは、滅菌装置内の空間に関する懸念事項ではない。したがって、滅菌モードでは、制御システムは、器具 14 の 1つ以上の寸法（高さ、長さ、及び／又は幅等）が増加してアクチュエータアセンブリ 400 のより効果的な滅菌を可能にするように、手持ち部分 16 に対してツールの支持体 18 を延在させるようにアクチュエータアセンブリ 400 を制御することができる。特に、アクチュ

エータアセンブリ 400 の寸法を増加させることは、アクチュエータアセンブリ 400 を通る滅菌剤のより容易な流路を促進し、及び／又はアクチュエータアセンブリ 400 の表面積を増加させてアクチュエータアセンブリ 400 の滅菌を促進することができる。例えば、制御システムは、アクチュエータアセンブリ 400 のアクチュエータ 21、22、23 のうちの少なくとも 1 つが、第 1 の位置の 25 % 以内を超えて延在しない（すなわち、第 2 の位置によって定義されるそれらの下限からのアクチュエータ 21、22、23 の少なくとも 75 % の延在）ように、アクチュエータを制御することができる。したがって、滅菌指令に作用すると、器具 14 の 1 つ以上の寸法（高さ、長さ、及び／又は幅等）は、器具 14 がアクチュエータアセンブリ 400 の滅菌を促進するようにサイズ決定されるように増加される。

10

【0377】

同様に、第 1 の位置に対する少なくとも 1 つのアクチュエータの様々な位置は、器具 14 の少なくとも 1 つの寸法を増加させるのに十分であり得るものであり、器具 14 は、アクチュエータアセンブリ 400 のより効果的な滅菌を容易にするようにサイズ決定されることが理解されるべきである。例えば、いくつかの構成では、少なくとも 1 つのアクチュエータは、第 1 の位置（すなわち、アクチュエータの上限）の 0 %、5 %、10 %、15 %、20 %、25 %、30 %、35 %、40 %、45 %、又は更には 50 % 以内を超えて延在しなくてもよい。例えば、図 49 A 及び図 49 B に示される構成では、アクチュエータアセンブリ 400 は、ツール支持体 18 が手持ち部分 16 に対して傾斜される、別の好適な滅菌姿勢に配置されてもよい。例えば、いくつかの構成では、器具 14 が滅菌モードで動作しているとき、アクチュエータアセンブリ 400 は、アクチュエータ 21、22、23 のうちの少なくとも 1 つをその作動の上限の 25 % 以内まで作動させ、アクチュエータ 21、22、23 のうちの別の 1 つ以上をその下限の 25 % 以内まで作動させ、それによって、器具 14 を通る滅菌剤の流動を改善し、器具 14 の滅菌を促進することができる。

20

【0378】

制御システムは、入力信号、すなわち滅菌指令に応答して、器具 14 を滅菌モードに遷移させるように構成され得る。入力信号は、様々な条件／入力に応答して生成され得る。一例では、入力信号は、ユーザによって作動されるように構成された入力デバイスから生成され得る。入力デバイスは、ユーザによって作動されるように構成される任意の好適なデバイス、例えば、限定ではないが、ツールトラッカ、ナビゲーションシステム 32、又はコンソール 33 上等の器具 14 上に配置される物理的なインタフェース（ボタン又はスイッチ等）、又は器具 14、ナビゲーションシステム 32、又はコンソール 33 のユーザインタフェース UI 上に配置されるグラフィックインタフェース要素であり得る。1 つの構成では、入力デバイスは、器具 14 に滅菌モードに遷移するように指令する専用入力デバイスであり得る。しかしながら、入力デバイスは、作業モードと滅菌モードとを含むがこれらに限定されない様々な動作モードの間で器具 14 を切り替えるように構成され得ることが企図される。別の構成では、入力デバイスは、入力信号を生成するように構成された電力入力デバイスであり得る。

30

【0379】

電力入力デバイスによって生成された入力信号に応答して、制御システムは、器具 14 を滅菌モードに遷移させ、その後、手持ち式ロボット外科用器具のシャットダウン手順を開始するように構成することができる。同様に、電力入力デバイスは、器具 14、ナビゲーションシステム 32 若しくはコンソール 33 上に配置された（ボタン又はスイッチ等）物理的なインタフェース、又は器具 14、ナビゲーションシステム 32 若しくはコンソール 33 のユーザインタフェース UI 上に配置されたグラフィックインタフェース要素等の、しかしこれらに限定されない、ユーザによって作動されるように構成された任意の適切なデバイスであり得る。

40

【0380】

上述のように、ロボットシステム 10 は、器具 14 に取り付けられたツールトラッカ 5

50

2と、患者の解剖学的構造に固定された少なくとも1つの患者トラック54、56と、既知の座標系（図10に示す）における器具14及び患者の解剖学的構造の位置及び／又は向きを決定するためにツールトラック52及び患者トラック54、56をモニタリングするように構成されたローカライザ44とを更に含むことができる。いくつかの構成では、制御システムは、器具14の動作モードを選択し、既知の座標系における基準位置に対する器具14の位置及び／又は向きに基づいて入力信号を生成するように構成される。例えば、制御システムは、器具14の動作モードを選択し、ツールトラック52及び／又は患者トラック54、56によって追跡されるような、又はマシンビジョンを使用する等の別の方法でローカライザによって決定されるような、患者の解剖学的構造に対する器具14の位置及び／又は向きに基づいて入力信号を生成するように構成することができる。

10

【0381】

例えば、図10に戻って参照すると、1つの構成では、制御システムは、既知の座標系における基準位置に対する器具14の向きに基づいて、器具14の角度パラメータAを算出するように構成することができる。例えば、制御システムは、限定ではないが、所望の切断面等の目標仮想オブジェクト184等の好適な基準位置に対する器具14の向きに基づいて、器具14の角度パラメータAを算出するように構成することができる。加えて、制御システムは、角度パラメータAを少なくとも1つの閾値角度と比較し、比較に基づいて入力信号を生成するように構成することができる。例えば、既知の座標系に対する器具14の姿勢に関する角度パラメータAが特定の閾値角度を超える場合、制御システムは、器具14を滅菌モードに遷移させる入力信号を生成するように構成することができる。

20

【0382】

同様に、図10を継続して参照すると、1つの構成では、制御システムは、器具14の位置及び既知の座標系内の基準位置の位置に基づいて、器具14の距離パラメータDを算出するように構成することができる。例えば、制御システムは、患者の解剖学的構造の適切な基準位置（例えば、限定されないが、患者トラック54、56に対して定義された位置）に対する器具14の適切な基準位置（例えば、限定されないが、ツール中心点TCP）の間の距離に基づいて、器具14の距離パラメータDを算出するように構成することができる。さらに、制御システムは、距離パラメータDを少なくとも1つの閾値距離と比較し、比較に基づいて入力信号を生成するように構成することができる。距離パラメータは、大きさ及び方向を有することができる。

30

【0383】

更に図10を参照すると、少なくとも1つの閾値距離は、器具14の異なる動作モードに関連する異なるゾーンを規定する複数の閾値距離I、II、IIIを含み得る。例えば、複数の閾値距離は、滅菌モード閾値距離III（図10に示される）を含み得る。例えば、距離パラメータDが滅菌モード閾値距離IIIを超えると、制御システムは、器具14を滅菌モードに遷移させる入力信号を生成するように構成され得る。加えて、複数の閾値距離は、ホームモード閾値距離II（図10に示される）を含み得る。

【0384】

同様に、制御システムは、距離パラメータDをホームモード閾値距離II及び／又は滅菌モード閾値距離IIIと比較するように構成することができる。例えば、距離パラメータDがホームモード閾値距離IIを超える、及び／又は滅菌モード閾値距離IIIを下回る場合、制御システムは、器具14にホームモードで動作するように指令する第2の入力信号を生成するように構成することができ、制御システムは、器具14のアクチュエータアセンブリ400を動作させ、アクチュエータ21、22、23のそれぞれをそのそれぞれのホーム位置に遷移させるように構成される。この実施態様において、ホームモードにおける器具14のホーム姿勢は、滅菌モードにおける器具14の滅菌姿勢とは異なることが理解されるべきである。例えば、器具14のホーム姿勢は、アクチュエータアセンブリ400のアクチュエータ21、22、23のそれぞれのホーム位置によって累積的に定義され得る。一方、器具14の滅菌姿勢は、アクチュエータ21、22、23のうちの少なくとも1つをそれらのホーム位置から動かして、ツール支持体18を手持ち部分16に対

40

50

して滅菌に適した姿勢に動かすことによって規定され得る。

【0385】

さらに、複数の閾値距離は、作業モード閾値距離Ⅰ（図10に示す）を含み得る。また、同様に、制御システムは、距離パラメータDを作業モード閾値距離Ⅰと比較するように構成することができる。この比較に基づいて、制御システムは、距離パラメータDが作業モード閾値距離Ⅰ内にあることに応答して、器具14を作業モードに遷移させ、ツール20を目標仮想オブジェクト184と能動的に位置合わせさせるように構成することができる。図10に示されるような一例では、閾値距離Ⅰ、ⅠⅠ、ⅠⅠⅠは、患者の目標解剖学的構造から様々な半径に配置される、1つ以上の仮想オブジェクト184によって定義され得る。

10

【0386】

別の構成では、制御システムは、器具14のホーム姿勢を累積的に定義するために、アクチュエータ21、22、23のそれぞれのホーム位置を確立するホーミング手順（上記）を実行した後に、器具14を滅菌モードに遷移させる入力信号を生成するように構成することができる。例えば、器具のホーム姿勢は、公称基準位置であってもよく、又はアクチュエータ21、22、23のそれぞれが、ツール支持体18を目標切断面等の目標仮想オブジェクト184と位置合わせする最大調整可能性を有する位置であってもよい。

【0387】

他の構成では、滅菌モードは、ホーミング手順を容易にすることができる。上述のように、滅菌モードの1つの構成では、アクチュエータアセンブリ400のアクチュエータ21、22、23は、第2の位置（すなわち、アクチュエータの下限）から或る特定の範囲内（アクチュエータ移動の25%等）を超えて延在しない。例えば、器具14は、それが滅菌容器1200から取り外され、使用前にホーミング手順が実施されることを必要とするとき、この構成にあってもよい。したがって、器具14は、例えば、アクチュエータ21、22、23の下限と上限との間でアクチュエータ21、22、23を動かして、アクチュエータ21、22、23のそれぞれのホーム位置を確立することによって、ホーミング手順を実行することができる。しかしながら、特に、アクチュエータ21、22、23は、ホーミング手順の開始時に第2の位置の或る特定の範囲内にあるので、器具14は、ホーミング手順をより速く実行することができる。特に、アクチュエータ21、22、23は既に第2の位置の或る特定の範囲内にあるので、器具14は、より短い時間でアクチュエータ21、22、23の下限に移動することができ、ホーミング手順を完了するために必要とされる全体的な時間を低減し、したがって、高価な手術室時間を節約する。さらに、アクチュエータ21、22、23の位置は、滅菌モードにおいてほぼ既知であるため、器具14は、アクチュエータ上限又は下限と激しく衝突する危険性がより少なく、より高速でアクチュエータ21、22、23を動かすことができ、ホーミング手順を行う際の更なる時間を節約するため、ホーミング手順を完了するために要求される時間は、更に短縮され得る。

20

30

【0388】

加えて、更に別の構成では、制御システムは、（上述したように）外科用コンソール33と通信することができる。したがって、制御システムは、制御システムが器具14及び／又は外科用コンソール33のエラーを検出したときに、器具14を滅菌モードに遷移させる入力信号を生成するように構成することができる。例えば、エラーは、器具14と外科用コンソール33との間の通信エラー（例えば、器具14と外科用コンソール33との間の接続の喪失）であり得る。別の例として、エラーは、ローカライザ44と器具14、器具トラッカ42、又は患者トラッカ54、56との間などの、外科用のロボットシステム10の様々なデバイス間の「見通し線」エラーであり得る。更に別の例では、エラーは、外科用コンソール33上で実行されているアプリケーションがクラッシュすること、又は外科用コンソール33が電力を失うこと等の、外科用コンソール33上で実行されているアプリケーションの障害であり得る。更なる例として、エラーは、駆動モータMの過電流状態、駆動モータMのジャミング状態、又は器具14のセンサの無効なセンサ読取値等

40

50

の器具 1 4 自体内のエラーであり得る。別の更なる例として、エラーは、ユーザが少なくとも規定された期間にわたって器具 1 4 又は外科用コンソール 3 3 とインタラクトしないことに起因するタイムアウトエラーであり得る。

【0389】

別の構成では、制御システムはまた、（上記では「フリーハンドモード」(free-hand mode)とも称される)凍結モード(freeze mode)で器具 1 4 を動作させるように構成することができ、凍結モードにおいて、ツール支持体 1 8 の姿勢に対する手持ち部分 1 6 の姿勢は、ツール 2 0 を目標仮想オブジェクト 1 8 4 と位置合わせさせるように作業モードで手持ち部分 1 6 に対して移動するツール支持体 1 8 とは対照的に、ユーザが患者に手術を行う際に凍結姿勢(freeze pose)で固定される。例えば、入力信号に応答して、制御システムは、少なくとも作業モードと凍結モードとの間で器具 1 4 を遷移させるように構成することができる。例えば、器具 1 4 は、作業モードで動作しており、入力信号を受信して、器具 1 4 を凍結モードに遷移させることができる。したがって、制御システムは、器具 1 4 がユーザによってのみ位置決めされ得るように、アクチュエータアセンブリ 4 0 0 を制御することができる。

10

【0390】

上記で企図されるように、器具 1 4 が凍結モードに遷移するとき、器具 1 4 は、手持ち部分 1 6 に対するツール支持体 1 8 のその現在の姿勢のままであり得る。しかしながら、他の構成では、器具 1 4 は、アクチュエータのそれぞれに対して定義されるホーム位置であり得るか、又はユーザによって定義される好ましい姿勢であり得る、規定された凍結姿勢に移動してもよい。

20

【0391】

他の構成では、凍結姿勢は、滅菌姿勢と同じであり得る。例えば、制御システムは、器具 1 4 が凍結モードで動作するように指令する入力信号に応答して、器具 1 4 が滅菌姿勢に移動するように、アクチュエータアセンブリ 4 0 0 を制御することができる。滅菌姿勢を規定された凍結姿勢として使用することは、器具 1 4 のサイズを低減し、器具 1 4 をユーザのために保持／位置決めすることをより容易にし、ユーザが凍結モードでの動作を終了した後に器具 1 4 が滅菌姿勢にあるように、アクチュエータアセンブリを調整する必要性を防止することができる。したがって、凍結姿勢が滅菌姿勢と同一であるように構成されるとき、入力信号を受信することに応答して、制御システムは、器具 1 4 を凍結モードに遷移させるように構成されてもよく、制御システムは、ユーザが患者に手術するにつれて、凍結姿勢で手持ち部分 1 6 に対するツール支持体 1 8 の姿勢を維持するようにアクチュエータアセンブリ 4 0 0 を制御する前に、滅菌姿勢に手持ち部分 1 6 に対してツール支持体 1 8 を動かすようにアクチュエータアセンブリ 4 0 0 を制御するように構成することができる。

30

【0392】

いくつかの構成では、アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 は逆駆動可能である。したがって、凍結モードにあるとき、制御システムは、アクチュエータアセンブリ 4 0 0 を制御して、アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 に電流を能動的に印加し、手持ち部分 1 6 に対するツール支持体 1 8 の姿勢を維持することができる。他の構成では、アクチュエータ 2 1、2 2、2 3 は逆駆動不能である。したがって、凍結モードにあるとき、アクチュエータアセンブリ 4 0 0 は、静止したままであるように制御される。例えば、制御システムは、アクチュエータアセンブリ 4 0 0 のアクチュエータ 2 1、2 2、2 3 のうちの 1 つ以上に電流を印加して、1 つ以上のアクチュエータ 2 1、2 2、2 3 が生成する力が、1 つ以上のアクチュエータ 2 1、2 2、2 3 が受ける力に等しくかつ反対であり、したがって、1 つ以上のアクチュエータ 2 1、2 2、2 3 が静止したままであるようにすることができる。

40

【0393】

ここで図 5 0 ~ 図 5 2 を参照すると、器具 1 4 はまた、ガイダンスアレイ 1 6 0 0 を含み得る。ガイダンスアレイ 1 6 0 0 は、器具 1 4 の動作の間、手持ち部分 1 6 に対するツール支持体 1 8 の姿勢の視覚的指標をオペレータに提供し、ツール 2 0 の所望の姿勢を達

50

成するために、手持ち部分 16 のピッチ向き、ロール向き、及び z 軸並進における必要とされる変化の視覚的指標をオペレータに提供する一方、ツール 20 を目標平面上に維持する最大調整可能性を複数のアクチュエータ 21、22、23 に与える。ガイダンスアレイ 1600 は、アクチュエータ 21、22、23 をそれらのホーム位置又は他の所定の位置の近くに保つことによって、器具 14 に十分な調整性を提供するために、手持ち部分 16 をどのように動かすかに関してユーザをガイドするために、ツール支持体 18 に取外し可能に又は恒久的に結合されるツール位置合わせ部材 1602 と、手持ち部分 16 に取外し可能に又は恒久的に結合されるハンドル位置合わせ部材 1604 とを含む。いくつかの構成では、ツール位置合わせ部材 1602 の少なくとも一部及びハンドル位置合わせ部材 1604 の少なくとも一部は、アクチュエータ 21、22、23 がそれらのそれぞれのホーム位置にあるときに位置合わせされ得る。

10

【0394】

図 51 及び図 52 を参照すると、滅菌容器 1200 は、第 2 の空隙 1208 を画定することができる。第 2 の空隙 1208 は、ツール位置合わせ部材 1602 及びハンドル位置合わせ部材 1604 が器具 14 から除去されると、ツール位置合わせ部材 1602 及びハンドル位置合わせ部材 1604 を受容し、ツール位置合わせ部材 1602 及びハンドル位置合わせ部材 1604 の滅菌を促進するように構成することができる。器具 14 の追加の構成要素は、器具 14 から取外し可能であってもよく、滅菌容器 1200 は、追加の構成要素の滅菌を促進するために、追加の構成要素を受容するように構成される追加の空隙を画定してもよいことが企図される。

20

【0395】

(諸項目)

I. 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、既知の座標系において、外科用ツールの状態を決定し、既知の座標系に対する基準座標系の位置及び／又は向きを決定し、外科用ツールの状態と基準座標系との間の第 1 の関係基準に基づいて、ガイドモードをアクティブ化し、外科用ツールの状態と基準座標系との間の第 2 の関係基準に基づいてガイドモードを非アクティブ化する命令を含み、第 1 の関係基準及び第 2 の関係基準は異なるものである、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

II. 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、既知の座標系において外科用ツールの目標姿勢及び手持ち部分又はツール支持体の姿勢を決定し、外科用ツールの目標姿勢及び手持ち部分又はツール支持体の姿勢に基づいて複数のアクチュエータのそれぞれを制御し、モータステータスを決定し、手持ち部分又はツール支持体の姿勢、境界、及びモータステータスに基づいて、アクチュエータ又は関節の閾値を選択し、アクチュエータアセンブリのアクチュエータ又は関節の値を決定し、アクチュエータ又は関節の閾値及びアクチュエータ位置又は関節の角度値に基づいてツール駆動モータを制御する命令を含む、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

30

III. 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、既知の座標系において外科用ツールの目標姿勢及び手持ち部分又はツール支持体の姿勢を決定し、外科用ツールの目標姿勢及び手持ち部分又はツール支持体の姿勢に基づいて複数のアクチュエータのそれぞれを制御し、モータステータスを決定し、モータステータスに基づいて、第 1 の駆動モータ制御基準及び第 2 の駆動モータ制御基準であって、第 1 の駆動モータ制御基準は少なくとも 1 つのアクチュエータ又は関節アクチュエータアセンブリのアクチュエータ位置又は関節角度を含み、第 2 の駆動モータ制御基準は境界に基づく、第 1 の駆動モータ制御基準及び第 2 の駆動モータ制御基準のうちの一方を選択し、選択された駆動モータ制御基準に基づいて、ツール駆動モータを制御する命令を含む、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

40

IV. 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、既知の座標系において、外科用ツールの姿勢及び外科用ツールの目標姿勢を決定し、ツールの姿勢及び外科用ツールの目標姿勢に基づいて、複数の制御された自由度に

50

において外科用ツールを位置決めするように、複数のアクチュエータを制御し、ツール駆動モータのモータステータスを決定し、モータステータスに基づいて、境界を選択し、少なくとも1つの制御されない自由度における外科用ツールの姿勢に基づいて、かつ選択された境界の姿勢に基づいて、ツール駆動モータを制御する命令を含む、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

V. 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、外科用ツールの姿勢及び外科用ツール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外科用ツールを位置決めするように、複数のアクチュエータを制御し、ツール駆動モータのモータステータスを決定し、モータステータスに関する距離パラメータを選択し、少なくとも1つの制御されない自由度における外科用ツールの姿勢及び選択された距離パラメータに基づいて、ツール駆動モータを制御する命令を含む、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

10

VI. 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、既知の座標系において鋸刃の第1の目標姿勢を決定し、第1の時間におけるモータステータスを決定し、第1の時間における手持ち部分又は刃支持体の姿勢を決定し、鋸刃の第1の目標姿勢、第1の時間におけるモータステータス、及び第1の時間における手持ち部分又は刃支持体の姿勢に基づいて処置ステータスを決定し、処置ステータスに基づいて鋸刃の第2の目標姿勢を選択する能力を制限する命令を含む、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

VII. 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、既知の座標系において鋸刃の第1の目標姿勢を決定し、第1の時間におけるモータステータスを決定し、第2の時間におけるモータステータスを決定し、第1の時間であって、第1の時間において、器具は非ガイドモードにあり、第1の時間において、器具はガイドモードにある、第1の時間において、手持ち部分又は刃支持体の姿勢を決定し、第2の時間において、手持ち部分又は刃支持体の姿勢を決定し、第1の時間における鋸駆動モータのモータステータス、第2の時間における鋸駆動モータのモータステータス、鋸刃の第1の目標姿勢、第1の時間における手持ち部分又は刃支持体の姿勢、及び第2の時間における手持ち部分又は刃支持体の姿勢に基づいて、処置ステータスを決定する命令を含む、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

20

VIII. 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、第1のトラックに基づいてツールの姿勢を決定し、第2のトラックに基づいて患者の解剖学的構造の部分の姿勢を決定し、ツールの姿勢及び患者の解剖学的構造の部分の姿勢に基づいて外科用ツールを位置決めするように複数のアクチュエータを制御し、第1のトラック及び第2のトラックのうちの一方に対して遮断事象が発生したことを決定し、遮断事象に基づいてツール駆動モータを制御する命令を含む、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

30

IX. 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、既知の座標系において、第1のトラックに基づいてツールの姿勢を決定し、第2のトラックに基づいて患者の解剖学的構造の部分の姿勢を決定し、外科用ツールの姿勢及び患者の解剖学的構造の部分の姿勢に基づいて外科用ツールを位置決めするように複数のアクチュエータを制御し、モータステータスを決定し、第1のトラック及び第2のトラックのうちの少なくとも一方の追跡ステータスを決定し、モータステータス及び追跡ステータスに基づいて、第1の駆動モータ制御基準及び第2の駆動モータ制御基準であって、第1の駆動モータ制御基準は、第1の期間を含み、第2の駆動モータ制御基準は、第2の期間を含み、第1の期間は、第2の期間とは異なる、第1の駆動モータ制御基準及び第2の駆動モータ制御基準のうちの一方を選択し、選択された駆動モータ制御基準に基づいてツール駆動モータを制御する命令を含む、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

40

X. 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、手持ち部分又はツール支持体の姿勢及び外科用ツールの目標姿勢を決定し、手持ち部分又はツール支持体の姿勢及び外科用ツールの目標姿勢に基づいて、外科用ツールを

50

位置決めするように、複数のアクチュエータを制御し、複数のアクチュエータを器具のホーム状態に動かしたいという要望を示す入力信号を受信し、入力信号に基づいて、器具の初期状態を決定し、器具の初期状態に基づいて、システムを制御する命令を含む、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

X I . 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、既知の座標系において、外科用ツールの目標姿勢を決定し、既知の座標系において、手持ち部分又はツール支持体の姿勢を決定し、外科用ツールの目標姿勢、手持ち部分又はツール支持体の姿勢、及びガイド制約調整パラメータであって、ガイド制約調整パラメータは、第1の値を有する、ガイド制約調整パラメータに基づいて、ガイド制約を生成し、複数のアクチュエータのうちの少なくとも1つのアクチュエータの位置と、複数のアクチュエータのうちの少なくとも1つのアクチュエータのセンタリング位置と、関節センタリング調整パラメータであって、関節センタリング調整パラメータは、第2の値を有する、関節センタリング調整パラメータとに基づいて、関節センタリング制約を生成し、システムがガイドモードで動作している間に、ガイド制約に基づいて、複数のアクチュエータのそれぞれの指令された関節位置を決定し、ガイドモードから非ガイドモードに移行する際に、関節センタリング制約に基づいて、指令された関節位置を決定する命令を含み、関節センタリング調整パラメータの値は、ガイド制約調整パラメータの値とは異なる、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

X I I . 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、既知の座標系において、手持ち部分又はツール支持体の姿勢及び外科用ツールの目標姿勢であって、ガイドモードでは、制御システムは、手持ち部分又はツール支持体の姿勢及び外科用ツールの目標姿勢に基づいて、外科用ツールを位置決めするように、複数のアクチュエータを制御するように構成される、目標姿勢を決定し、ガイドモードと非ガイドモードとの間で遷移する入力信号であって、入力信号を受信することに応答して、器具は、ホーム状態をとる、入力信号を受信し、外科用ツールの目標姿勢及び手持ち部分又はツール支持体の姿勢に基づいて、速度を決定し、第1の期間中に速度及び第1の速度閾値に基づいて第1の速度で移動するように複数のアクチュエータを制御し、第2の期間中に速度及び第2の速度閾値に基づいて第2の速度で移動するように複数のアクチュエータを制御する命令を含み、第1の速度閾値は第2の速度閾値よりも大きいものである、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

X I I I . 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、既知の座標系において、鋸刃の目標姿勢を決定し、既知の座標系において、鋸刃の状態を決定し、器具がホーム状態をとる非ガイドモードと、ガイドモードであって、ガイドモードにおいて、複数のアクチュエータは、ガイド制約に基づいて鋸刃を位置合わせするように制御される、ガイドモードとの間で遷移する入力信号の受信に基づいて、調整パラメータの値を決定し、鋸刃の目標姿勢及び手持ち部分又はツール支持体の姿勢に基づいて、かつ調整パラメータの値に基づいて、ガイド制約を生成し、ガイド制約に基づいて、仮想鋸刃を動かすよう適合された制約力を算出し、制約力に基づいて、仮想シミュレーションにおいて仮想鋸刃の動力学をシミュレートし、仮想シミュレーションに基づいて指令姿勢を出力し、指令姿勢に基づいて、複数のアクチュエータのそれぞれを制御する命令を含む、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

X I V . 手持ち式ロボット外科用システムであって、手持ち式ロボット外科用器具であって、手持ち部分と、手持ち部分に移動可能に結合されたツール支持体であって、ツール支持体は、ツールを支持するツールマウントを含む、ツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続するアクチュエータアセンブリであって、アクチュエータアセンブリは、少なくとも1つのアクチュエータを含み、アクチュエータアセンブリは、ツール支持体を手持ち部分に対して複数の自由度で動かすように構成される、アクチュエータアセンブリとを備える、手持ち式ロボット外科用器具と、手持ち部分に対してツール支持体を移動させるようにアクチュエータアセンブリを制御するように構成され、少なくとも以下の動作モード、すなわち、ツールが目標仮想オブジェクトと位置合わせされる

ように、コントローラがアクチュエータアセンブリを制御する、作業モードと、コントローラがアクチュエータアセンブリを制御して、ツール支持体を手持ち部分に対して滅菌に好適な姿勢に動かす、滅菌モードとで手持ち式ロボット外科用器具を動作させるように構成されたコントローラとを備え、コントローラは、入力信号に応答して、手持ち式ロボット外科用器具を滅菌モードに遷移させるように構成されている、手持ち式ロボット外科用システム。

X V . 滅菌剤が入り、残留滅菌剤が出ることできるように形成された滅菌容器を更に備え、滅菌容器は、手持ち式ロボット外科用器具が滅菌プロセスに供され得るように、手持ち式ロボット外科用器具が滅菌モードにあるときに手持ち式ロボット外科用器具を受容するように構成された空隙を画定し、滅菌容器は、互いに結合して空隙を画定する基部及び蓋を含む、項目X I V に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

10

X V I . 滅菌容器は、滅菌容器によって取外し可能に受容されるようにサイズ決定されるトレイを含み、トレイは、手持ち式ロボット外科用器具を受容するように構成される空隙を画定する、項目X I V に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

X V I I . アクチュエータアセンブリは、複数のアクチュエータを含み、複数のアクチュエータのそれぞれは、アクチュエータ上限を画定する第1の位置と、アクチュエータ下限を画定する第2の位置との間で移動し、ツール支持体を手持ち部分に対して動かすように構成され、ホーム位置は、複数のアクチュエータのそれぞれの第1の位置と第2の位置との間の公称位置である、項目X V に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

X V I I I . アクチュエータアセンブリのアクチュエータのそれぞれは、手持ち式ロボット外科用器具のサイズが、滅菌容器の空隙内に受容されるように低減されるように、手持ち式ロボット外科用器具が滅菌モードにあるとき、アクチュエータのそれぞれの第2の位置の25%以内を超えて延在しない、項目X V I I に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

20

X I X . 手持ち式ロボット外科用器具は、作業モードで動作しているとき、手持ち式ロボット外科用器具が空隙内に受容され得ないように、手持ち式ロボット外科用器具がサイズ決定される姿勢に、手持ち部分に対してツール支持体を動かすことが可能である、項目X V I I I に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

X X . 手持ち式ロボット外科用器具を通る滅菌剤の流れを容易にするために、手持ち式ロボット外科用器具のサイズが増加されるように、手持ち式ロボット外科用器具が滅菌モードにあるとき、アクチュエータアセンブリのアクチュエータのそれぞれが、アクチュエータのそれぞれの第1の位置の25%以内を超えて延在しない、項目X V I I に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

30

X X I . アクチュエータアセンブリは、それぞれ、アクチュエータ上限を画定する第1の位置とアクチュエータ下限を画定する第2の位置との間で移動するように構成される、第1のアクチュエータ及び第2のアクチュエータを含み、手持ち式ロボット外科用器具が滅菌モードにあるとき、第1のアクチュエータは、第1の位置の25%以内を超えて延在せず、第2のアクチュエータは、第2の位置の25%以内を超えて延在しない、項目X X に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

X X I I . 入力信号は、ユーザによって作動されるように構成された入力デバイスから生成される、項目X I V に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

40

X X I I I . 入力デバイスは、入力信号を生成するためにユーザによって作動されるように構成された電力入力デバイスであり、コントローラは、入力信号に応答して手持ち式ロボット外科用システムを滅菌モードに遷移させ、その後、手持ち式ロボット外科用器具のシャットダウン手順を開始するように構成されている、項目X X I I に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

X X I V . 電力入力デバイスは、手持ち式ロボット外科用器具及び外科用コンソールのうちの少なくとも一方に配置される、項目X X I I I に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

X X V . 手持ち式ロボット外科用器具に結合されたツールトラックと、既知の座標系に

50

おける手持ち式ロボット外科用器具の位置又は向きあるいはそれらの両方を決定するためにツールトラックをモニタリングするように構成されたローカライザとを更に備え、入力信号は、ツールトラックの位置又は向きあるいはそれらの両方に基づく、項目XIVに記載の手持ち式ロボット外科用システム。

XXVI. コントローラは、手持ち式ロボット外科用器具の動作モードを選択し、既知の座標系内の基準位置に対する手持ち式ロボット外科用器具の位置又は向きあるいはそれらの両方に基づいて入力信号を生成するように構成されている、項目XXVに記載の手持ち式ロボット外科用システム。

XXVII. 手持ち式ロボット外科用器具に結合されたツールトラックと、患者の目標解剖学的構造に固定されるように構成された患者トラックと、ツールトラック及び患者トラックをモニタリングして、既知の座標系における手持ち式ロボット外科用器具及び患者解剖学的構造の位置又は向きあるいはそれらの両方を決定するように構成されたローカライザとを更に備え、入力信号は、ツールトラックの位置又は向きあるいはそれらの両方、並びに患者トラックの位置又は向きあるいはそれらの両方に基づく、項目XIVに記載の手持ち式ロボット外科用システム。

XXVIII. コントローラは、手持ち式ロボット外科用器具の動作モードを選択し、既知の座標系内の基準位置に対する手持ち式ロボット外科用器具の位置又は向きあるいはそれらの両方に基づいて入力信号を生成するように構成されている、項目XXVIIに記載の手持ち式ロボット外科用システム。

XXIX. コントローラは、既知の座標系内の基準位置に対する手持ち式ロボット外科用器具の向きに基づいて、手持ち式ロボット外科用器具の角度パラメータを算出するように構成され、コントローラは、角度パラメータを少なくとも1つの閾値角度と比較するように構成され、入力信号は、比較に基づく、項目XXVIIIに記載の手持ち式ロボット外科用システム。

XXX. コントローラは、手持ち式ロボット外科用器具の位置及び既知の座標系内の基準位置の位置に基づいて、手持ち式ロボット外科用器具の距離パラメータを算出するように構成され、コントローラは、距離パラメータを少なくとも1つの閾値距離と比較するように構成され、入力信号は、比較に基づく、項目XXVIIIに記載の手持ち式ロボット外科用システム。

XXXI. 既知の座標系における基準位置の位置は、患者の解剖学的構造の位置に基づき、手持ち式ロボット外科用器具の位置は、手持ち式ロボット外科用器具のツール中心点に基づく、項目XXXに記載の手持ち式ロボット外科用システム。

XXXII. 少なくとも1つの閾値距離は、滅菌モード閾値距離を含み、コントローラは、距離パラメータが滅菌モード閾値距離を超えることに応答して、手持ち式ロボット外科用器具を滅菌モードに遷移させるように構成されている、項目XXXに記載の手持ち式ロボット外科用システム。

XXXIII. アクチュエータアセンブリは、複数のアクチュエータを含み、複数のアクチュエータのそれぞれは、アクチュエータ上限を画定する第1の位置と、アクチュエータ下限を画定する第2の位置との間で移動し、ツール支持体を手持ち部分に対して動かすように構成され、ホーム位置は、複数のアクチュエータのそれぞれの第1の位置と第2の位置との間の公称位置であり、コントローラは、第2の入力信号に応答して、複数のアクチュエータの各アクチュエータをそれらのホーム位置に遷移させるように構成されている、項目XXXに記載の手持ち式ロボット外科用システム。

XXXIV. 少なくとも1つの閾値距離は、ホームモード閾値距離を含み、コントローラは、距離パラメータをホームモード閾値距離と比較するように構成され、第2の入力信号は、比較に基づく、項目XXXIIIに記載の手持ち式ロボット外科用システム。

XXXV. 少なくとも1つの閾値距離は、作業モード閾値距離を含み、コントローラは、距離パラメータが作業モード閾値距離内にあることに応答して、手持ち式ロボット外科用器具を作業モードに遷移させるように構成されている、項目XXXに記載の手持ち式ロボット外科用システム。

10

20

30

40

50

X X X V I . コントローラは、アクチュエータアセンブリの各アクチュエータのホーム位置を確立するためにホーミング手順を実行するように構成されている、項目 X V I I に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

X X X V I I . コントローラは、ホーミング手順が完了した後に、入力信号を生成して、手持ち式ロボット外科用器具を滅菌モードで動作させるように構成されている、項目 X X X V I に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

X X X V I I I . コントローラは、外科用コンソールと通信し、コントローラは、コントローラはエラーを検出したときに、入力信号を生成して、手持ち式ロボット外科用器具を滅菌モードに遷移させるように構成されている、項目 X I V に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

10

X X X I X . エラーは、手持ち式ロボット外科用器具と外科用コンソールとの間の通信エラーである、項目 X X X V I I I に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

X L . エラーは、ツールトラック及び患者トラックをモニタリングするように構成されたローカライザが、ツールトラック及び患者トラックのうちの一方との見通し線を失う見通し線エラーである、項目 X X X I X に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

X L I . エラーは、外科用コンソール上で実行されているアプリケーションの障害である、項目 X X X I X に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

X L I I . エラーは、手持ち式ロボット外科用器具の駆動モータの過電流状態である、項目 X X X I X に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

X L I I I . エラーは、手持ち式ロボット外科用器具の駆動モータのジャミング状態である、項目 X X X I X に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

20

X L I V . エラーは、手持ち式ロボット外科用器具のセンサの無効なセンサ状態である、項目 X X X I X に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

X L V . エラーは、ユーザが、少なくとも規定された期間の間、手持ち式ロボット外科用器具及び外科用コンソールのうちの少なくとも一方とインタラクトしていないタイムアウトエラーである、項目 X X X I X に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

X L V I . 目標仮想オブジェクトは、患者の目標解剖学的構造の目標平面である、項目 X I V に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

X L V I I . 手持ち式ロボット外科用システムであって、手持ち式ロボット外科用器具であって、手持ち部分と、手持ち部分に移動可能に結合されたツール支持体であって、ツール支持体は、ツールを支持するツールマウントを含む、ツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続するアクチュエータアセンブリであって、アクチュエータアセンブリは、少なくとも1つのアクチュエータを含み、アクチュエータアセンブリは、ツール支持体を手持ち部分に対して複数の自由度で動かすように構成される、アクチュエータアセンブリとを備える、手持ち式ロボット外科用器具と、手持ち部分に対してツール支持体を移動させるようにアクチュエータアセンブリを制御するように構成され、少なくとも以下の動作モード、すなわち、ユーザが患者に対して手術するときに、ツールが目標仮想オブジェクトと位置合わせされるように、コントローラがアクチュエータアセンブリを制御する、作業モードと、コントローラがアクチュエータアセンブリを制御し、ツール支持体を手持ち部分に対して動かして、滅菌に好適である滅菌姿勢にする、滅菌モードと、ユーザが患者に対して手術するときに、コントローラがアクチュエータアセンブリを制御し、手持ち部分に対するツール支持体の姿勢を凍結姿勢に維持する、凍結モードと、で手持ち式ロボット外科用器具を動作させるように構成されたコントローラとを備え、コントローラは、入力信号に応答して、手持ち式ロボット外科用器具を少なくとも作業モードと殺菌モードと凍結モードとの間で遷移させるように構成されている、手持ち式ロボット外科用システム。

30

40

X L V I I I . アクチュエータアセンブリの少なくとも1つのアクチュエータは、コントローラがアクチュエータに移動するように指令することに応答して、ツール支持体のみが手持ち部分に対して移動するように、逆駆動不能である、項目 X L V I I に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

50

X L I X . 手持ち部分に対するツール支持体の凍結姿勢は、滅菌姿勢と同じであり、手持ち式ロボット外科用器具を凍結モードに遷移させるようにコントローラに指令する入力信号を受信したことに応答して、コントローラは、ユーザが患者に対して手術するときに、手持ち部分に対するツール支持体の姿勢を凍結姿勢に維持するようにアクチュエータアセンブリを制御する前に、滅菌姿勢になるように手持ち部分に対してツール支持体を動かすようにアクチュエータアセンブリを制御するように構成されている、項目 X L V I I に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

L . 滅菌剤が入り、残留滅菌剤が出ることできるように形成された滅菌容器を更に備え、滅菌容器は、手持ち式ロボット外科用器具が滅菌プロセスに供され得るように、手持ち式ロボット外科用器具が滅菌姿勢にあるときに手持ち式ロボット外科用器具を受容するように構成された空隙を画定し、滅菌容器は、互いに結合して空隙を画定する基部及び蓋を含む、項目 X L V I I に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

L I . アクチュエータアセンブリは、複数のアクチュエータを含み、複数のアクチュエータのそれぞれは、アクチュエータ上限を画定する第 1 の位置と、アクチュエータ下限を画定する第 2 の位置との間で移動し、ツール支持体を手持ち部分に対して動かすように構成され、ホーム位置は、複数のアクチュエータのそれぞれの第 1 の位置と第 2 の位置との間の公称位置である、項目 L に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

L I I . アクチュエータアセンブリのアクチュエータのそれぞれは、手持ち式ロボット外科用器具のサイズが、滅菌容器の空隙内に受容されるように低減されるように、手持ち式ロボット外科用器具が滅菌モードにあるとき、アクチュエータのそれぞれの第 2 の位置の 2 5 % 以内を超えて延在しない、項目 L I に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

L I I I . 手持ち式ロボット外科用器具は、作業モードで動作しているとき、手持ち式ロボット外科用器具が空隙内に受容され得ないように、手持ち式ロボット外科用器具がサイズ決定される姿勢に、手持ち部分に対してツール支持体を動かすことが可能である、項目 L I I に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

L I V . ツール支持体に結合され、そこから延在するツール位置合わせ部材と、手持ち部分に結合され、そこから延在するハンドル位置合わせ部材とを更に備え、ツール位置合わせ部材の少なくとも一部及びハンドル位置合わせ部材の少なくとも一部は、ツール支持体を手持ち部分に対して所望の可動域を有するときに位置合わせされる、項目 X V に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

L V . ツール位置合わせ部材は、ツール支持体から取外し可能であり、ハンドル位置合わせ部材は、手持ち部分から取外し可能であり、滅菌容器は、ツール位置合わせ部材及びハンドル位置合わせ部材の滅菌を容易にするために、ツール位置合わせ部材及びハンドル位置合わせ部材を受容するように構成された第 2 の空隙を画定する、項目 L I V に記載の手持ち式ロボット外科用システム。

L V I . 外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを含み、外科用ツールを支持するために手持ち部分に結合されたツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続し、ツール支持体を手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、外科用ツールを位置合わせするための、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た器具と、ローカライザと、複数のアクチュエータとローカライザとツール駆動モータとに結合された制御システムとを備えてなり、制御システムは、既知の座標系において、外科用ツールの目標姿勢と、外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの 1 つの姿勢とを決定し、外科用ツールの目標姿勢と、外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの 1 つの姿勢とに基づいて、複数のアクチュエータのそれぞれを制御し、アクチュエータ位置又は関節の角度値を決定し、ツール駆動モータのモータステータスを決定し、アクチュエータ位置又は関節の角度値及びモータステータスに基づいて、ツール駆動モータを制御するように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

L V I I . 制御システムは、モータステータスに基づいて第 1 のアクチュエータ又は関

節の閾値を決定するように構成され、制御システムは、アクチュエータ位置又は関節の角度値、第1のアクチュエータ又は関節の閾値、及びモータステータスに基づいてツール駆動モータを制御するように更に構成されている、項目LVIIに記載の手持ち式医療ロボットシステム。

LVIII. 制御システムは、第2のアクチュエータ又は関節の閾値を決定し、第2のアクチュエータ又は関節の閾値及びアクチュエータ位置又は関節の角度値に基づいてツール駆動モータを制御するように更に構成され、第2のアクチュエータ又は関節の閾値は、第1のアクチュエータ又は関節の閾値とは異なる、項目LVIIIに記載の手持ち式医療ロボットシステム。

LIX. 第1のアクチュエータ又は関節の閾値は、第1のアクチュエータ閾値であり、制御システムは、アクチュエータ位置、第1のアクチュエータ閾値、及びモータステータスに基づいて、ツール駆動モータを制御するように構成されている、項目LVIII又はLVIIIに記載の手持ち式医療ロボットシステム。

LX. 第2のアクチュエータ又は関節の閾値は、第2のアクチュエータ閾値であり、制御システムは、第2のアクチュエータ閾値、及びアクチュエータ位置値、及びモータステータスに基づいて、ツール駆動モータを制御するように構成され、第2のアクチュエータ閾値は、第1のアクチュエータ閾値とは異なる、項目LVIII～LIXのいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

LXI. 複数のアクチュエータは、第1のアクチュエータ及び第2のアクチュエータを含み、制御システムは、第1のアクチュエータ及び第2のアクチュエータに対する第1のアクチュエータ閾値及び第2のアクチュエータ閾値を決定し、制御システムは、第1のアクチュエータに対するアクチュエータ位置値、第1のアクチュエータ閾値、及び第2のアクチュエータ閾値に基づいて駆動モータを制御し、第2のアクチュエータに対するアクチュエータ位置値、第1のアクチュエータ閾値、及び第2のアクチュエータ閾値に基づいて駆動モータを制御するように構成されている、項目LVIII～LXのいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

LXII. 第1のアクチュエータ閾値及び第2のアクチュエータ閾値のうちの少なくとも一方は、第1のアクチュエータ及び第2のアクチュエータに対して異なるものである、項目LXIに記載の手持ち式医療ロボットシステム。

LXIII. モータステータスは、許容状態及び制限状態から選択され、許容状態では、ツール駆動モータは、動作することを許容され、制限状態では、ツール駆動モータは、動作することを制限される、項目LVIII～LXIIのいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

LXIV. 制御システムは、モータステータスが許容状態にあると決定されたときに、第1のアクチュエータ又は関節の閾値及びアクチュエータ位置又は関節値に基づいてツール駆動モータを制御するように構成され、制御システムは、モータステータスが制限状態にあると決定されたときに、第2のアクチュエータ又は関節の閾値及びアクチュエータ又は関節の値に基づいてツール駆動モータを制御するように構成されている、項目LXIIIに記載の手持ち式医療ロボットシステム。

LXV. 第1のアクチュエータ又は関節の閾値及び第2のアクチュエータ又は関節の閾値は、値の範囲として更に定義され、第1のアクチュエータ又は関節の閾値に含まれる値の範囲は、第2のアクチュエータ又は関節の閾値に含まれる値の範囲よりも大きく、この値の範囲を包含する、項目LXIVに記載の手持ち式医療ロボットシステム。

LXVI. アクチュエータ位置又は関節の角度値は、少なくとも1つのアクチュエータの現在の測定位置、以前の測定位置、指令位置、若しくはそれらの組合せ、又は現在の測定角度、以前の測定角度、指令角度、若しくはそれらの組合せである、項目LV～LXVのいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

LXVII. 駆動モータを制御するように構成された制御システムは、モータステータスが許容状態にあるとき、第1のアクチュエータ又は関節の閾値及びアクチュエータ位置又は関節の角度値に基づいて駆動モータを停止するように更に構成され、制御システムは

、モータステータスが制限状態にあるとき、第2のアクチュエータ又は関節の閾値及びアクチュエータ位置又は関節の角度値に基づいて駆動モータを停止するように構成されている、項目L X I I I ~ L X V I のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

L X V I I I . 駆動モータを制御するように構成された制御システムは、モータステータスが許容状態にある場合、アクチュエータ位置又は関節の角度値が第1のアクチュエータ又は関節の閾値の範囲外にあるとき、駆動モータを停止するように更に構成され、制御システムは、モータステータスが制限状態にある場合、アクチュエータ位置又は関節の角度値が第2のアクチュエータ又は関節の閾値の範囲外にあるとき、駆動モータを停止するように構成されている、項目L X I I I ~ L X V I I のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

10

L X I X . 制御システムは、既知の座標系において、外科用ツールの目標姿勢及び外科用ツールの姿勢を決定し、外科用ツールの目標姿勢及び外科用ツールのうちの1つの姿勢に基づいて、複数のアクチュエータのそれぞれを制御するように構成されている、項目L V I ~ L X V I I I のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

L X X . 外科用ツールは、鋸刃である、項目L V I ~ L X I X のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

L X X I . 目標姿勢は、目標平面である、項目L V I ~ L X X のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

L X X I I . 制御システムは、外科用ツールの姿勢及び境界に基づいて、ツール駆動モータを制御するように更に構成されている、項目L V I ~ L X X I のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

20

L X X I I I . 外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを含み、外科用ツールを支持するために手持ち部分に結合されたツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続し、ツール支持体を手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、外科用ツールを位置合わせする、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備えた器具と、ローカライザと、複数のアクチュエータとローカライザとツール駆動モータとに結合された制御システムとを備えてなり、制御システムは、既知の座標系において外科用ツールの目標姿勢と、外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの1つの姿勢とを決定し、外科用ツールの目標姿勢と、外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの1つの姿勢とに基づいて複数のアクチュエータのそれぞれを制御し、モータステータスを決定し、外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの1つの姿勢と、境界と、モータステータスとに基づいて、アクチュエータ又は関節の閾値を選択し、アクチュエータアセンブリのアクチュエータ位置又は関節の角度値を決定し、アクチュエータ又は関節の閾値及びアクチュエータ位置又は関節の角度値に基づいて、ツール駆動モータを制御するように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

30

L X X I V . 制御システムは、外科用ツールの姿勢が境界の近位にあるときに第1のアクチュエータ又は関節の閾値を選択し、外科用ツールの姿勢が境界の遠位にあるときに第2のアクチュエータ又は関節の閾値を選択するように構成され、第1のアクチュエータ又は関節の閾値は、第2のアクチュエータ又は関節の閾値とは異なる、項目L X X I I I に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

40

L X X V . モータステータスは、許容状態及び制限状態から選択され、許容状態では、ツール駆動モータは、動作することを許容され、制限状態では、ツール駆動モータは、動作することを制限され、制御システムは、外科用ツールが境界内にあるとき、第2のアクチュエータ又は関節の閾値を選択するように構成され、ツール駆動モータは、制限状態にある、項目L X X I V に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

L X X V I . 制御システムは、外科用ツールが境界の外側にあるとき、第1のアクチュエータ又は関節の閾値を選択するように構成され、ツール駆動モータは、許容状態にある、項目L X X V に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

50

L X X V I I . 制御システムは、外科用ツールが境界の外側にあるとき、第 1 のアクチュエータ又は関節の閾値を選択するように構成され、ツール駆動モータは、制限状態にある、項目 L X X V ~ L X X V I のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

L X X V I I I . 制御システムは、外科用ツールが境界の外側にあるとき、第 1 のアクチュエータ又は関節の閾値を選択するように構成され、ツール駆動モータは、制限状態にある、項目 L X X V ~ L X X V I I のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

L X X I X . 制御システムは、外科用ツール及び境界の状態に基づいて、駆動モータを制限状態に遷移させるように構成されている、項目 L X X V ~ L X X V I I I のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

L X X X . 器具は、2 . 7 2 キログラム（6 ポンド）未満の重量である、項目 L X X I I ~ L X X I X のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

L X X X I . 外科用ツールは、鋸刃である、項目 L X X I I I ~ L X X I X のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

L X X X I I . 境界は、インプラントの計画された姿勢に基づく、項目 L X X I I I ~ L X X X I のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム

L X X X I I I . ツールの目標姿勢は、インプラントの計画された姿勢に基づく、項目 L X X X I I に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

L X X X I V . 第 1 のアクチュエータ又は関節の閾値は、第 1 のアクチュエータ閾値であり、制御システムは、アクチュエータ位置値及び第 1 のアクチュエータ閾値に基づいて、ツール駆動モータを制御するように構成されている、項目 L X X I V ~ L X X X I I I のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

L X X X V . 第 1 のアクチュエータ又は関節の閾値は、第 1 のアクチュエータ閾値であり、制御システムは、アクチュエータ位置及び第 1 のアクチュエータ閾値に基づいてツール駆動モータを制御するように構成されている、項目 L X X I V ~ L X X X I V のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

L X X X V I . 第 2 のアクチュエータ又は関節の閾値は、第 2 のアクチュエータ閾値であり、制御システムは、第 2 のアクチュエータ閾値及びアクチュエータ位置値に基づいてツール駆動モータを制御するように構成され、第 2 のアクチュエータ閾値は、第 1 のアクチュエータ閾値とは異なる、項目 L X X I V ~ L X X X V のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

L X X X V I I . 複数のアクチュエータは、第 1 のアクチュエータ及び第 2 のアクチュエータを含み、制御システムは、第 1 のアクチュエータ及び第 2 のアクチュエータに対する第 1 のアクチュエータ閾値及び第 2 のアクチュエータ閾値を決定し、制御システムは、第 1 のアクチュエータに対するアクチュエータ位置値、第 1 のアクチュエータ閾値、及び第 2 のアクチュエータ閾値に基づいて駆動モータを制御し、第 2 のアクチュエータに対するアクチュエータ位置値、第 1 のアクチュエータ閾値、及び第 2 のアクチュエータ閾値に基づいて駆動モータを制御するように構成されている、項目 L X X I I I ~ L X X X V I に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

L X X X V I I I . 第 2 のアクチュエータ又は関節の閾値は、第 2 のアクチュエータ閾値であり、制御システムは、第 2 のアクチュエータ閾値及びアクチュエータ位置値に基づいてツール駆動モータを制御するように構成され、第 2 のアクチュエータ閾値は、第 1 のアクチュエータ閾値とは異なる、項目 L X X I I I ~ L X X X V I I のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

L X X X I X . 複数のアクチュエータは、第 1 のアクチュエータ及び第 2 のアクチュエータを含み、制御システムは、第 1 のアクチュエータ及び第 2 のアクチュエータに対する第 1 のアクチュエータ閾値及び第 2 のアクチュエータ閾値を決定し、制御システムは、第 1 のアクチュエータに対するアクチュエータ位置値、第 1 のアクチュエータ閾値、及び第 2 のアクチュエータ閾値に基づいて駆動モータを制御し、第 2 のアクチュエータに対するアクチュエータ位置値、第 1 のアクチュエータ閾値、及び第 2 のアクチュエータ閾値に基

10

20

30

40

50

づいて駆動モータを制御するように構成されている、項目 L X X I I I ~ L X X X V I I I のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

X C . 鋸刃とともに使用する手持ち式医療用ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、鋸刃の動きを駆動する鋸駆動モータを備え、手持ち部分に結合された刃支持体と、上記刃支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続し、刃支持体を動かして、鋸刃を手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、鋸刃を所望の姿勢に配置する、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備える器具と、ローカライザと、複数のアクチュエータ及びローカライザに結合された制御システムとを備えてなり、制御システムは、既知の座標系において、鋸刃の第 1 の目標姿勢を決定し、第 1 の時間におけるモータステータスを決定し、第 1 の時間における鋸刃、手持ち部分、及び刃支持体のうちの 1 つの姿勢を決定し、鋸刃の第 1 の目標姿勢と、第 1 の時間におけるモータステータスと、第 1 の時間における鋸刃、手持ち部分、及び刃支持体のうちの 1 つの姿勢とに基づいて、処置ステータスを決定し、処置ステータスに基づいて鋸刃の第 2 の目標姿勢を選択する能力を制限するように構成されている、手持ち式医療用ロボットシステム。

10

X C I . 制御システムは、処置ステータスに基づいて鋸刃の第 2 の目標姿勢を有効にするように構成されている、項目 X C に記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

X C I I . 鋸刃の第 1 の目標姿勢は、遠位大腿骨切断又は脛骨切断と関連付けられ、第 2 の目標姿勢は、以下の切断、すなわち、前方皮質切断、後方顆切断、後方面取り切断、又は前方面取り切断のうちの 1 つ以上と関連付けられる、項目 X C I に記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

20

X C I I I . モータステータスは、鋸駆動モータのパラメータに基づく、項目 X C ~ X C I I のいずれか一項に記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

X C I V . 制御システムは、鋸刃の第 1 の目標姿勢、第 1 の時間におけるモータステータス、第 2 の時間におけるモータステータス、第 1 の時間における鋸刃、手持ち部分、及び刃支持体のうちの 1 つの姿勢、並びに第 2 の時間における鋸刃、手持ち部分、及び刃支持体のうちの 1 つの姿勢に基づいて、処置ステータスを決定するように構成されている、項目 X C ~ X C I I I のいずれか一項に記載のシステム。

X C V . 制御システムは、鋸刃の第 1 の目標姿勢と、第 1 の時間におけるモータステータスと、手持ち部分又は刃支持体の姿勢が特定の姿勢である持続時間とに基づいて、処置ステータスを決定するように構成されている、項目 X C ~ X C I V のいずれか一項に記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

30

X C V I . 制御システムは、第 1 の時間における鋸駆動モータのモータステータス、鋸刃の第 1 の目標姿勢、及び第 1 の時間における手持ち部分又は刃支持体の姿勢に基づいて、かつ入力信号に基づいて、処置ステータスを決定するように構成されている、項目 X C ~ X C V のいずれか一項に記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

X C V I I . 入力信号を提供するように構成されたユーザ入力デバイスを更に備える、項目 X C V I に記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

X C V I I I . 第 1 の目標姿勢は、切断される第 1 の領域と、切断される第 2 の領域とを含み、第 1 の領域は、第 2 の領域から空間的に分離しており、制御システムは、第 1 の領域のステータス、第 2 の領域のステータスに基づいて、処置ステータスを決定するように構成され、制御システムは、各姿勢における鋸刃、手持ち部分、又は刃支持体の姿勢及びモータステータスに基づいて、第 1 の領域及び第 2 の領域のステータスを別個に決定するように構成されている、項目 X C ~ X C V I I のいずれか一項に記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

40

X C I X . 制御システムは、第 2 の時間における鋸刃、刃支持体、又は手持ち部分の姿勢を決定するように更に構成され、制御システムは、第 1 の時間における刃支持体又は手持ち部分の姿勢及びモータステータスに基づいて第 1 の領域のステータスを決定し、第 2 の時間における刃支持体及び手持ち部分の姿勢及びモータステータスに基づいて第 1 の領域のステータスを決定するように構成されている、項目 X C V I I I に記載の手持ち式医

50

療用ロボットシステム。

C. 患者画像は、第1の複数のボクセル及び第2の複数のボクセルを含み、第1の領域は、第1の複数のボクセルと関連付けられ、第2の領域は、第2の複数のボクセルと関連付けられる、項目XCIXに記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

CI. 患者モデルは、切断される第1の領域及び切断される第2の領域を含む、項目XCIX~Cのいずれか一項に記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

CI I. 制御システムは、第1の領域のステータス及び第2の領域のステータスに基づいて処置ステータスを決定するように構成されている、項目XCIX~CIのいずれか一項に記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

CI I I. 器具は、2.72キログラム（6ポンド）未満の重量である、項目XC~CI Iのいずれか一項に記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

CI V. 鋸刃とともに使用する手持ち式医療用ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、鋸刃の動きを駆動する鋸駆動モータを備え、手持ち部分に結合された刃支持体と、刃支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続し、刃支持体を動かして、手持ち部分に対して複数の自由度で鋸刃を動かして、鋸刃を所望の姿勢に配置する、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備える器具と、ローカライザと、複数のアクチュエータ及びローカライザに結合された制御システムとを備えてなり、制御システムは、既知の座標系において鋸刃の第1の目標姿勢を決定し、第1の時間におけるモータステータスを決定し、第2の時間におけるモータステータスを決定し、第1の時間であって、第1の時間において、器具は、非ガイドモードにあり、第1の時間において、器具は、ガイドモードにある、第1の時間において、鋸刃、手持ち部分、又は刃支持体のうちの1つの姿勢を決定し、第2の時間において、鋸刃、手持ち部分、又は刃支持体の姿勢を決定し、第1の時間における鋸駆動モータのモータステータス、第2の時間における鋸駆動モータのモータステータス、鋸刃の第1の目標姿勢、第1の時間における手持ち部分又は刃支持体の姿勢、及び第2の時間における鋸刃、手持ち部分又は刃支持体の姿勢に基づいて処置ステータスを決定するように構成されている、手持ち式医療用ロボットシステム。

CV. 制御システムは、処置ステータスに基づいて鋸刃の第2の目標姿勢を選択する能力を制限するように構成されている、項目CVIに記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

CV I. 制御システムは、処置ステータスに基づいて鋸刃の第2の目標姿勢を有効にするように構成されている、項目CVに記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

CV I I. 鋸刃の第1の目標姿勢は、遠位大腿骨切断又は脛骨切断と関連付けられ、第2の目標姿勢は、以下の切断、すなわち、前方皮質切断、後方顆切断、後方面取り切断、又は前方面取り切断のうちの1つ以上と関連付けられる、項目CVに記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

CV I I I. モータステータスは、鋸駆動モータのパラメータに基づく、項目CVI~CV I I Iのいずれか一項に記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

CI X. 制御システムは、鋸刃の第1の目標姿勢、第1の時間におけるモータステータス、第2の時間におけるモータステータス、第1の時間における鋸刃、手持ち部分、及び刃支持体のうちの1つの姿勢、並びに第2の時間における鋸刃、手持ち部分、及び刃支持体のうちの1つの姿勢に基づいて、処置ステータスを決定するように構成されている、項目CVI~CV I I Iのいずれか一項に記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

CX. 制御システムは、鋸刃の第1の目標姿勢と、第1の時間におけるモータステータスと、手持ち部分又は刃支持体の姿勢が特定の姿勢である持続時間とに基づいて、処置ステータスを決定するように構成されている、項目CVI~CI Xのいずれか一項に記載の手持ち式医療用ロボットシステム。

CX I. 制御システムは、第1の時間における鋸駆動モータのモータステータス、鋸刃の第1の目標姿勢、及び第1の時間における手持ち部分又は刃支持体の姿勢に基づいて、かつ入力信号に基づいて、処置ステータスを決定するように構成されている、項目CVI

～C X のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

C X I I . 入力信号を提供するように構成されたユーザ入力デバイスを更に備える、項目C I V ～C X I のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

C X I I I . 第1の目標姿勢は、切断される第1の領域と、切断される第2の領域とを含み、第1の領域は、第2の領域から空間的に分離しており、制御システムは、第1の領域のステータス、第2の領域のステータスに基づいて、処置ステータスを決定するように構成され、制御システムは、各姿勢における鋸刃、手持ち部分、又は刃支持体の姿勢及びモータステータスに基づいて、第1の領域及び第2の領域のステータスを別個に決定するように構成されている、項目C I V ～C X I I のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

10

C X I V . 制御システムは、第2の時間における鋸刃、刃支持体、又は手持ち部分の姿勢を決定するように更に構成され、制御システムは、第1の時間における刃支持体又は手持ち部分の姿勢及びモータステータスに基づいて第1の領域のステータスを決定し、第2の時間における刃支持体及び手持ち部分の姿勢及びモータステータスに基づいて第1の領域のステータスを決定するように構成されている、項目C X I I I に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

C X V . 患者画像は、第1の複数のボクセル及び第2の複数のボクセルを含み、第1の領域は、第1の複数のボクセルと関連付けられ、第2の領域は、第2の複数のボクセルと関連付けられる、項目C X I I I に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

C X V I . 患者モデルは、切断される第1の領域及び切断される第2の領域を含む、項目C X I I I ～C X V のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

20

C X V I I . 制御システムは、第1の領域のステータス及び第2の領域のステータスに基づいて、処置ステータスを決定するように構成されている、項目X C I I I ～C X V I のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

C X V I I I . 器具は、2.72キログラム（6ポンド）未満の重量である、項目C I V ～C X V I I のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

C X I X . 第2の目標姿勢は、切断される第3の領域と、切断される第4の領域とを含み、第3の領域は、第4の領域から空間的に離れており、制御システムは、第3の領域のステータス、第4の領域のステータスに基づいて処置ステータスを決定するように構成され、制御システムは、各姿勢における鋸刃、手持ち部分又は刃支持体の姿勢及びモータステータスに基づいて第3の領域及び第4の領域のステータスを別々に決定するように構成されている、項目C I V ～C X V I I I のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

30

C X X . 外科用ツールを位置決めするために複数のアクチュエータ及びツール駆動モータを含む手持ち式手術ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、既知の座標系における外科用ツールの目標姿勢を決定し、既知の座標系における外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの1つの姿勢を決定し、外科用ツールの目標姿勢及び手持ち部分又はツール支持体の姿勢に基づいて、ガイド制約であって、ガイド制約は、少なくとも1つのガイド制約方向及び各ガイド制約方向に沿って測定された少なくとも1つのガイド制約誤差を含む、ガイド制約を生成し、ガイド制約に基づいて複数のアクチュエータのそれぞれの指令関節位置を決定し、ガイド制約方向及びガイド制約誤差に基づいてツール駆動モータを制御する命令を含む、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

40

C X X I . 外科用鋸刃を位置決めするために複数のアクチュエータ及びツール駆動モータを含む手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、外科用インプラントの計画された姿勢を受信し、外科用インプラントの計画された姿勢に基づいて複数の目標切断面を決定し、器具の位置を決定し、器具の位置に基づいて境界を設定し、境界は複数の目標切断面のうちの1つと関連付けられ、設定された境界に基づいて鋸駆動モータを制御し、鋸刃を目標切断面のうちの1つに位置合わせさせるように複数のアクチュエータを制御する命令を含む、コンピュータ実装方法又はソフトウ

50

エア製品。

C X X I I . 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、手持ち式外科用ロボットの仮想境界を計画する命令を含み、命令は、既知の座標系における骨に対する外科手術インプラントの計画された姿勢を受信するステップと、既知の座標系における外科手術インプラントの計画された姿勢に基づいて、複数の目標切断面を決定するステップと、骨の姿勢を決定するステップと、切断深度限界の骨に対する所望の場所におけるポイントの位置を決定するステップと、ポイントの位置に基づいて、複数の目標切断面のうちの1つと関連付けられた境界を設定するステップとを含む、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

C X X I I I . 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、既知の座標系においてツールの目標姿勢及び手持ち式外科用ロボットの手持ち部分の姿勢を決定し、手持ち式外科用ロボットのツール支持体と手持ち式外科用ロボットの手持ち部分との間に加えられる外部作用力の量を推定し、加えられる推定された外部作用力の量に基づいてインジケータを制御することを含み、作用力の推定量は力又はトルクである、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

C X X I V . 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、既知の座標系においてツールの目標姿勢及び手持ち式外科用ロボットの手持ち部分の姿勢を決定し、手持ち式外科用ロボットのツール支持体と手持ち式外科用ロボットの手持ち部分との間に加えられる外部作用力の量を推定し、加えられる推定された外部作用力の量に基づいてユーザインタフェースを制御することを含み、作用力の推定量は力又はトルクである、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

C X X V . 手持ち部分とツールプラットフォームと複数のアクチュエータとツール駆動モータとを含む手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、既知の座標系において手持ち式外科用ロボットのツールの目標姿勢を決定し、手持ち式外科用ロボットのツール支持体と手持ち式外科用ロボットの手持ち部分との間に加えられる外部作用力の量を推定し、推定された印加される作用力の量に基づいて駆動モータを制御することを含み、推定された作用力の量は力又はトルクである、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

C X X V I . 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、既知の座標系において鋸刃の第1の目標姿勢を決定し、第1の時間における、鋸刃、手持ち式外科用ロボットの手持ち部分、及び手持ち式外科用ロボットの刃支持体の姿勢を決定し、第1の時間における鋸刃の第1の目標姿勢、並びに鋸刃、手持ち部分、及び刃支持体のうちの1つの姿勢に基づいて処置ステータスを決定し、処置ステータスに基づいて、鋸刃の第2の目標姿勢を選択する能力を制限することを含む、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

C X X V I I . 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、方法／製品は、既知の座標系において外科用ツールの状態及び外科用ツールの目標姿勢を決定し、外科用ツールの状態及び外科用ツールの目標姿勢に基づいて、外科用ツールを位置決めするように、手持ち式外科用ロボットの複数のアクチュエータを制御し、ツール駆動モータのモータステータスを決定し、モータステータスに関するガイド制約誤差閾値を選択し、ガイド制約誤差閾値、ガイド制約方向、及びガイド制約誤差に基づいてツール駆動モータを制御することを含む、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

C X X V I I I . 手持ち式外科用ロボットを制御するコンピュータ実装方法又はソフトウェア製品であって、既知の座標系において外科用ツールの状態及び外科用ツールの目標姿勢を決定し、外科用ツールの状態及び外科用ツールの目標姿勢に基づいて、外科用ツールを位置決めするように、手持ち式外科用ロボットの複数のアクチュエータを制御し、ツール駆動モータのモータステータスを決定し、モータステータスに関する誤差閾値を選択し、誤差閾値及び誤差に基づいてツール駆動モータを制御することを含む、コンピュータ実装方法又はソフトウェア製品。

10

20

30

40

50

C X X I X . 外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、外科用ツールを支持するために手持ち部分に結合されたツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続し、ツール支持体を手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、外科用ツールを位置合わせする、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備える器具と、ローカライザと、複数のアクチュエータとローカライザとツール駆動モータとに結合された制御システムとを備えてなり、制御システムは、既知の座標系において外科用ツールの目標姿勢と、外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの1つの姿勢とを決定し、外科用ツールの目標姿勢と、外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの1つの姿勢とに基づいて、複数のアクチュエータのそれぞれを制御し、ツール駆動モータのモータステータスを決定し、作業空間限界、外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの1つの姿勢、並びにモータステータスに基づいてツール駆動モータを制御するように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

10

C X X X . 外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを含み、外科用ツールを支持するために手持ち部分に結合されたツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続し、ツール支持体を手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、外科用ツールを位置合わせする、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備える器具と、ローカライザと、複数のアクチュエータとローカライザとツール駆動モータとに結合された制御システムとを備えてなり、制御システムは、既知の座標系において外科用ツールの目標姿勢と、外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの1つの姿勢とを決定し、外科用ツールの目標姿勢と、外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの1つの姿勢とに基づいて、複数のアクチュエータのそれぞれを制御し、モータステータスを決定し、外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの1つの姿勢と、境界と、モータステータスとに基づいて、作業空間限界を選択し、作業空間限界と、外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの1つの姿勢とに基づいてツール駆動モータを制御するように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

20

C X X X I . 外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを含み、外科用ツールを支持するために手持ち部分に結合されたツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続し、ツール支持体を手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、外科用ツールを位置合わせする、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備える器具と、ローカライザと、複数のアクチュエータとローカライザとツール駆動モータとに結合された制御システムとを備えてなり、制御システムは、既知の座標系において、外科用ツールの目標姿勢と、外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの1つの姿勢とを決定し、外科用ツールの目標姿勢と、外科用ツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの1つの姿勢とに基づいて、複数のアクチュエータのそれぞれを制御し、モータステータスを決定し、モータステータスに基づいて第1の駆動モータ制御基準及び第2の駆動モータ制御基準のうちの一方を選択し、第1の駆動モータ制御基準は作業空間限界を含み、第2の駆動モータ制御基準は境界に基づき、選択された駆動モータ制御基準に基づいてツール駆動モータを制御するように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

30

40

C X X X I I . 鋸刃とともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツールの動きを駆動するツール駆動モータを備え、手持ち部分に結合されたツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続し、ツール支持体を動かして、ツールを手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、ツールを所望の姿勢に配置する、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備える器具と、ローカライザと、複数のアクチュエータ及びローカライザに結合された制御システムとを備えてなり、制御システムは、既知の座標系において

50

ツールの第1の目標姿勢を決定し、第1の時間におけるモータステータスを決定し、第1の時間におけるツール、手持ち部分、及び刃支持体のうちの1つの姿勢を決定し、ツールの第1の目標姿勢、第1の時間におけるモータステータス、並びに第1の時間におけるツール、手持ち部分、及び刃支持体のうちの1つの姿勢に基づいて処置ステータスを決定し、処置ステータスに基づいてツールの第2の目標姿勢を選択する能力を制限するように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

CXXXIII. ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツールの動きを駆動するツール駆動モータを備え、手持ち部分に結合されたツール支持体と、ツール支持体と手持ち部分とを動作可能に相互接続し、ツール支持体を動かして、ツールを手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、ツールを所望の姿勢に配置する、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備える器具と、ローカライザと、複数のアクチュエータ及びローカライザに結合された制御システムとを備えてなり、制御システムは、既知の座標系においてツールの第1の目標姿勢を決定し、第1の時間におけるツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの1つの姿勢を決定し、第1の時間におけるツールの第1の目標姿勢、並びにツール、手持ち部分、及びツール支持体のうちの1つの姿勢に基づいて処置ステータスを決定し、処置ステータスに基づいてツールの第2の目標姿勢を選択する能力を制限するように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

CXXXIV. 複数のアクチュエータとツール駆動モータとツールとを含む手持ち式ロボット外科用ロボットを制御する方法であって、既知の座標系におけるツールの目標姿勢を決定するステップと、既知の座標系におけるツールの状態を決定するステップと、ツールの状態及びツールの目標姿勢に基づいてツールを所望の平面上に位置決めするように、複数のアクチュエータを制御するステップと、複数のアクチュエータのうちの1つ以上の位置がそのアクチュエータの関節限界と一致するときに、ツール駆動モータが動作することを許容するステップとを含んでなる方法。

CXXXV. 複数のアクチュエータとツール駆動モータとツールとを含む手持ち式ロボット外科手術用ロボットを制御する方法であって、既知の座標系におけるツールの目標姿勢を決定するステップと、既知の座標系におけるツールの状態を決定するステップと、ツールの状態及びツールの目標姿勢に基づいて、ツールを所望の平面上に位置決めするように複数のアクチュエータを制御するステップと、複数のアクチュエータのうちの1つ以上の位置が、器具が作業空間限界に遭遇することをもたらすであろうときにツール駆動モータが動作することを許容するステップとを含んでなる方法。

10

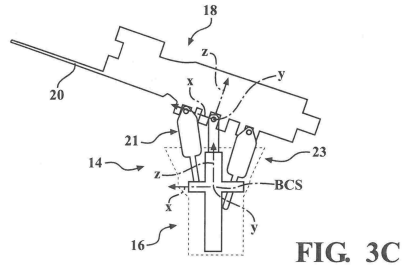
20

30

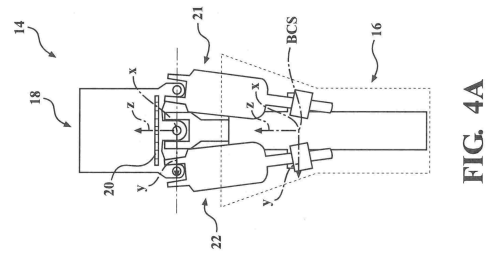
40

50

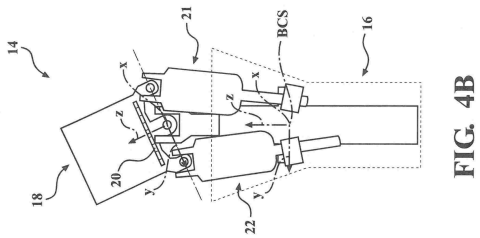
【図 3 C】



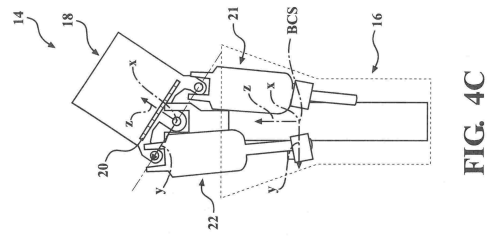
【図 4 A】



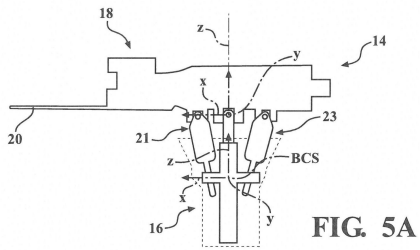
【図 4 B】



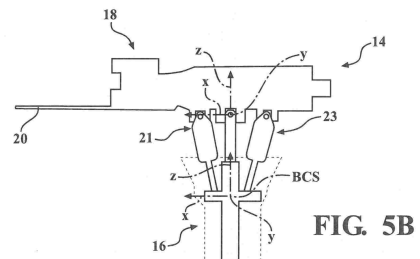
【図 4 C】



【図 5 A】



【図 5 B】



10

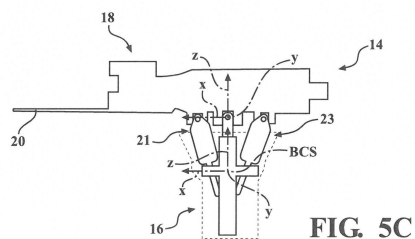
20

30

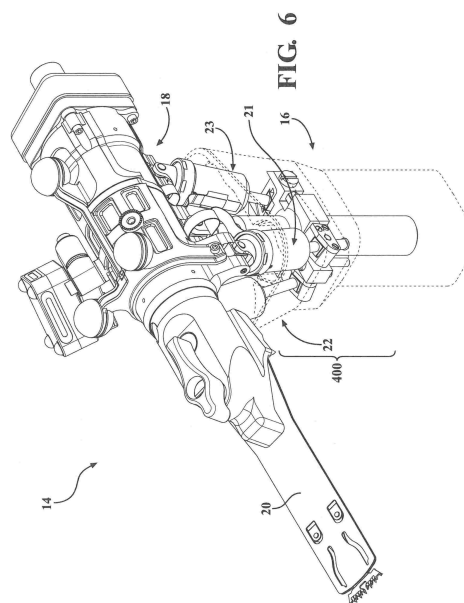
40

50

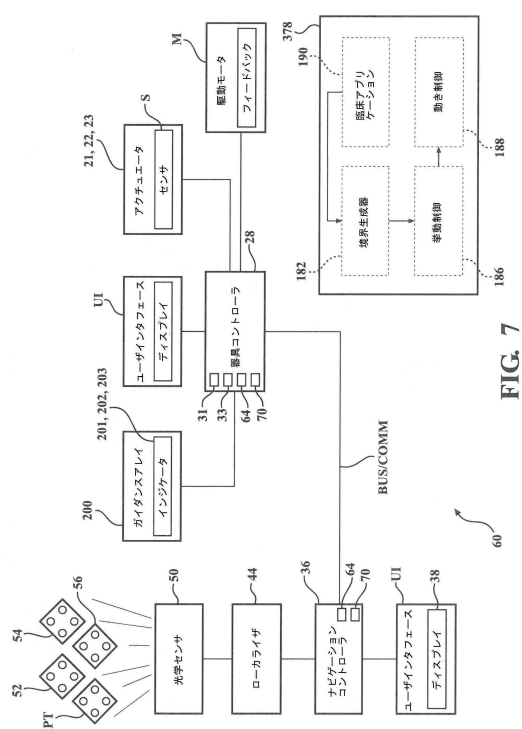
【図 5 C】



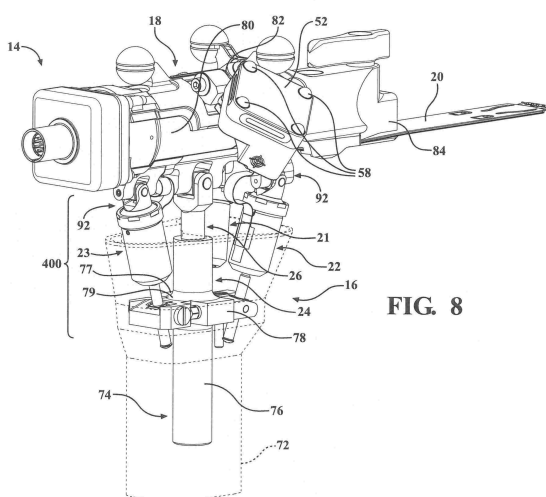
【図 6】



【圖 7】



【圖 8】



【図 9】

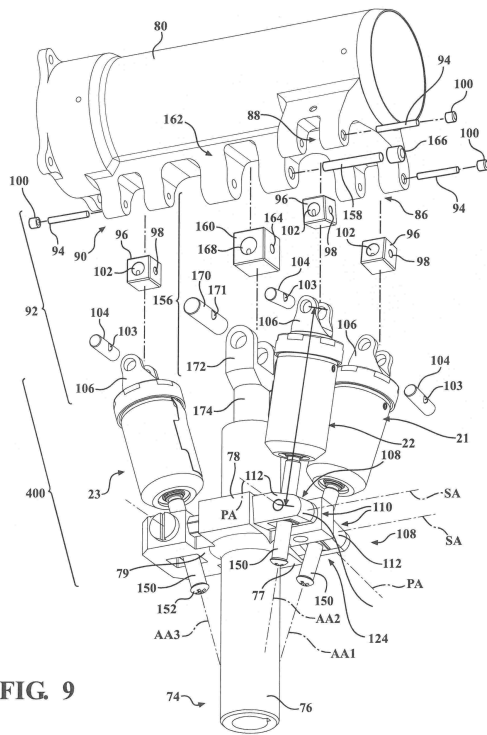


FIG. 9

【図 10】

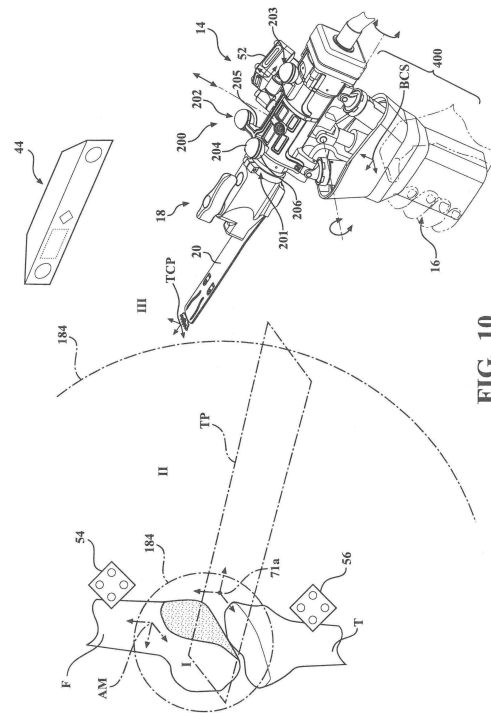


FIG. 10

10

20

【図 11】

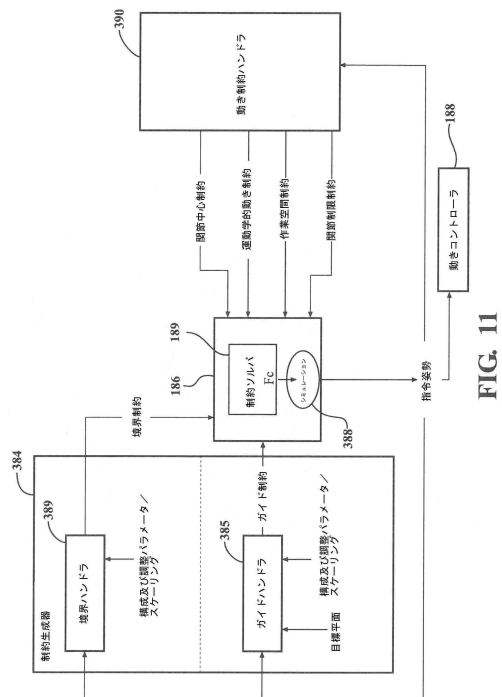


FIG. 11

【図 12】

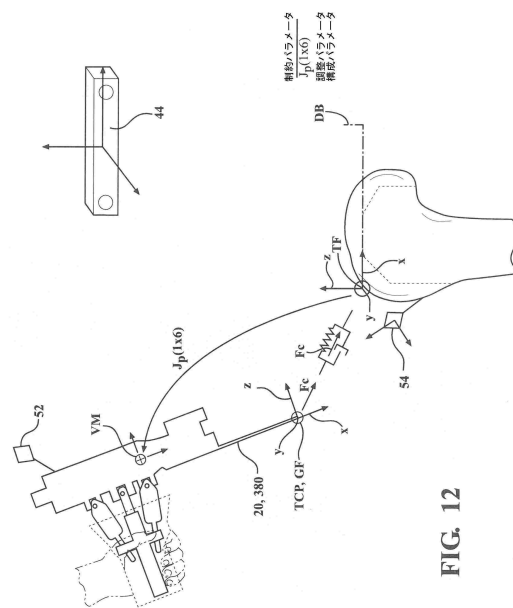


FIG. 12

30

40

50

【図 13】

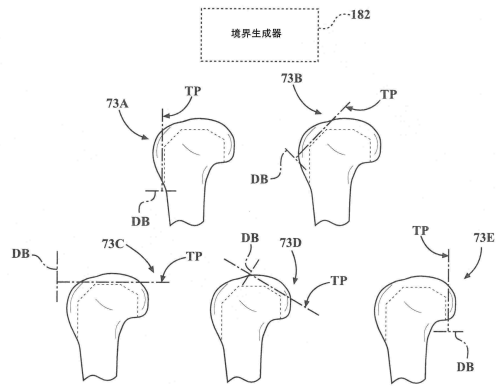
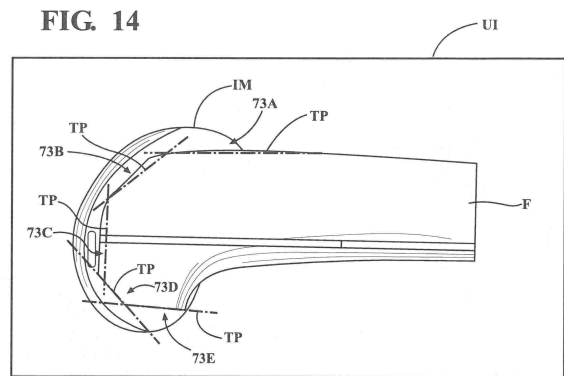


FIG. 13

【図 14】



10

20

【図 15】

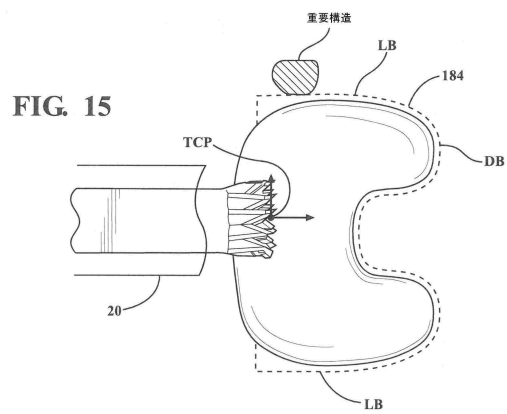


FIG. 15

【図 16】

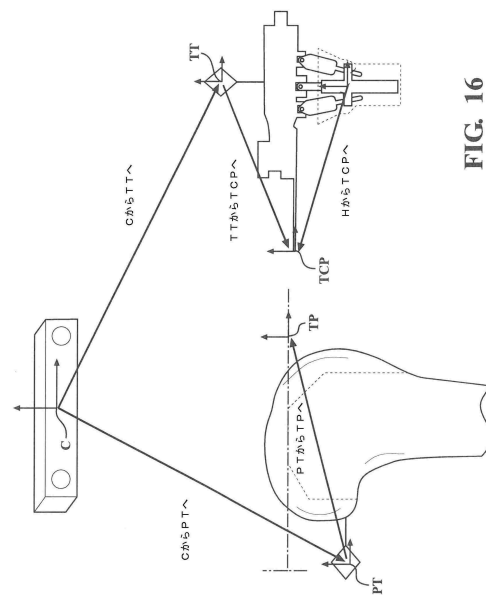


FIG. 16

30

40

50

【図 17 A】

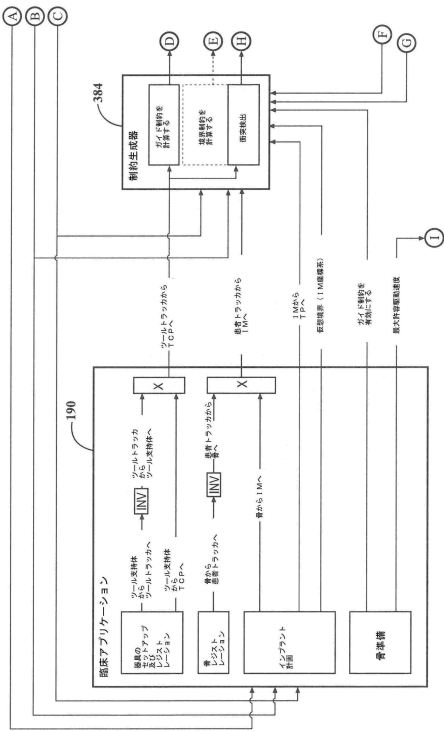


FIG. 17A

【図 17 B】

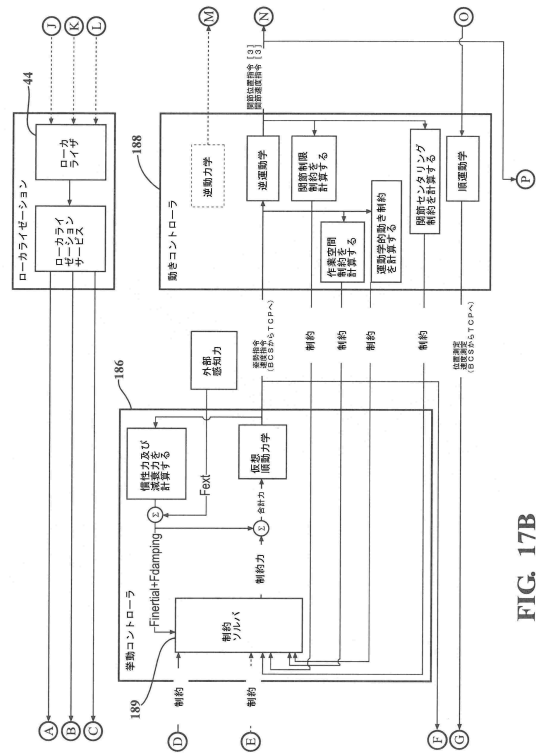


FIG. 17B

【図 17 C】

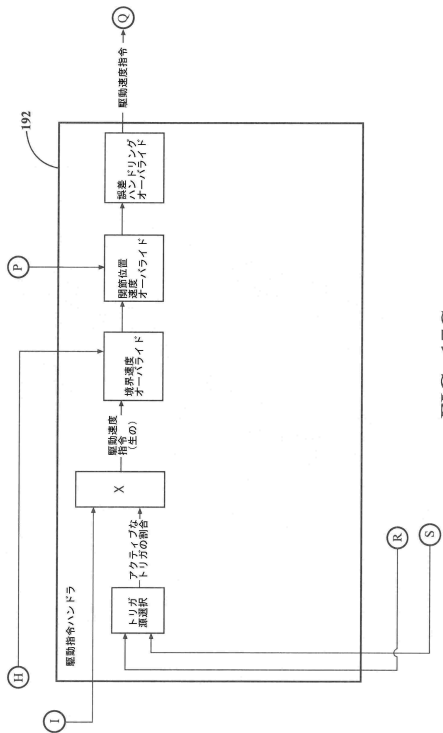


FIG. 17C

【図 17 D】

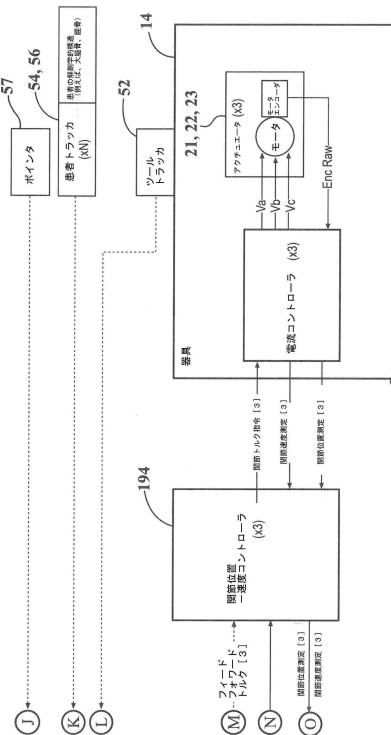


FIG. 17D

10

20

30

40

50

【図 17 E】

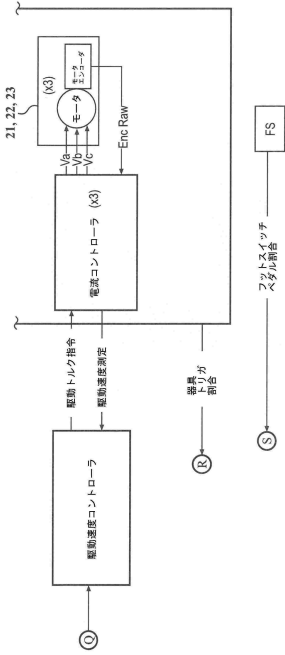


FIG. 17E

【図 18】

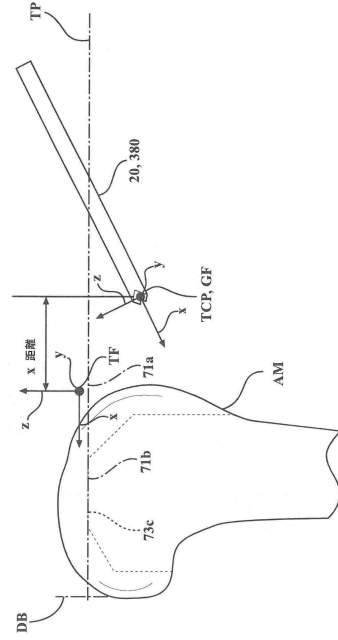


FIG. 18

【図 19】

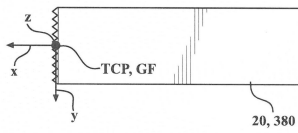


FIG. 19

【図 20】

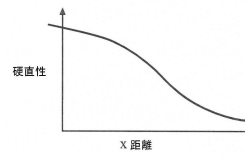


FIG. 20

10

20

30

40

50

【図 2 1】

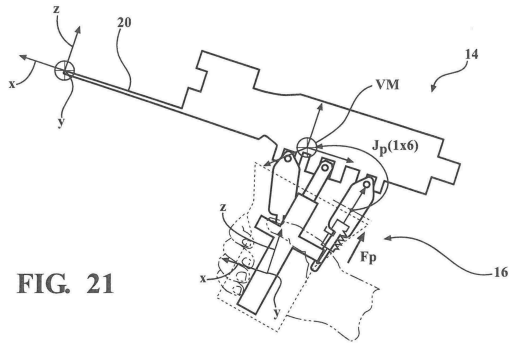


FIG. 21

【図 2 2】

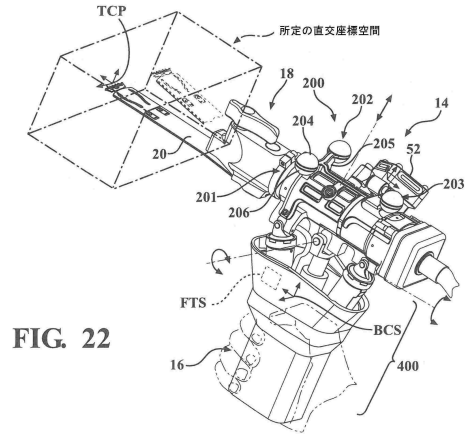


FIG. 22

【図 2 3 A - 2 3 C】

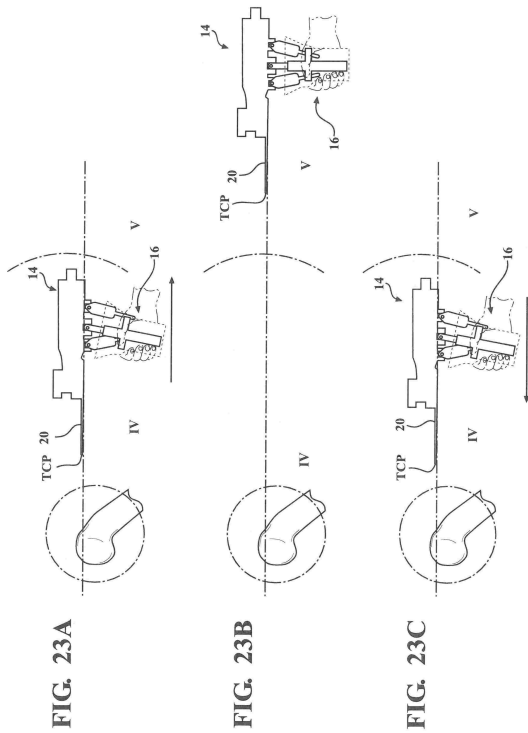


FIG. 23A

FIG. 23B

FIG. 23C

【図 2 4】

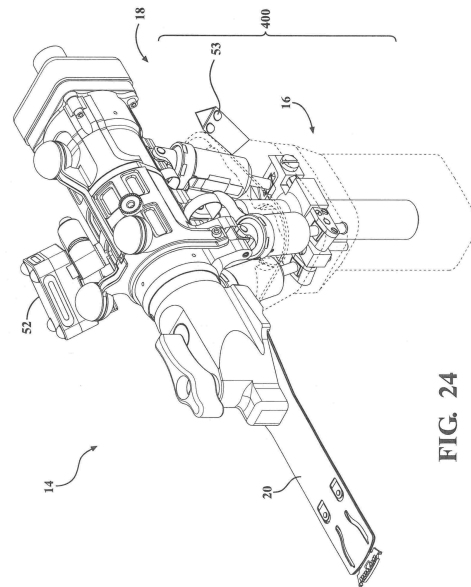


FIG. 24

10

20

30

40

50

【図 25】

制約方程式

連立の n 個の一次方程式 $(dx = b \rightarrow x = A^{-1}b = F = (A^T J)^{-1}a)$ を得ることによって、制約空間内の各制約 (F_P) に対する力を算出する

$$F_P = \left(J_P M^{-1} J_P^T + \frac{C}{\Delta t} \right)^{-1} \left(\frac{v_{P2}}{\Delta t} - \frac{J_P^T v_{G1}}{\Delta t} - \frac{\varepsilon \Delta d}{\Delta t} - \left(J_P M^{-1} + \frac{C}{\Delta t} J_P^T \right) (F_{inertial} + F_{damping} + F_{cg,ext}) \right) \geq 0$$

FIG. 25

【図 26】

順動力学アルゴリズム

構成パラメータ：
質量行列、質量及び慣性 [3x3] 行列の M_6DOF [6x6] 組合せ
速度制限 V_{max}, ω_{max}
入力：
初期姿勢 ${}^0T(t_0)$
初期速度 ${}^nV(t_0)$
CG に加えられる合計力 ${}^nF_{total}$
時間間隔 dT
出力：
最終姿勢 ${}^0T(T_0 + dT)$
最終速度 ${}^nV(t_0 + dT)$

FIG. 26

【図 27】

順動力学アルゴリズム

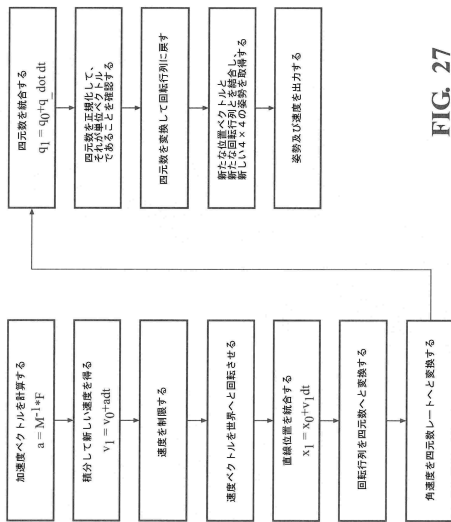


FIG. 27

【図 28】

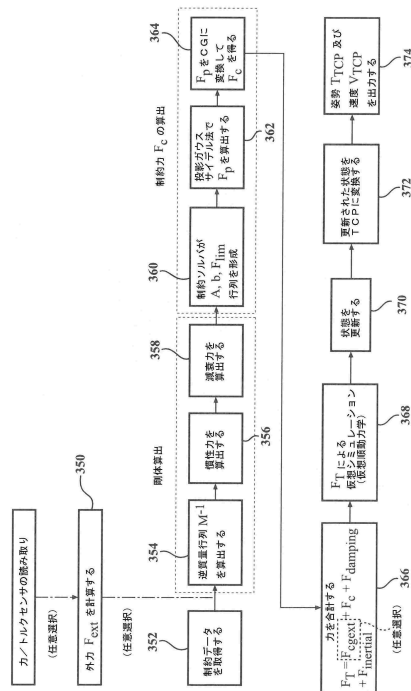


FIG. 28

【図 29 A】

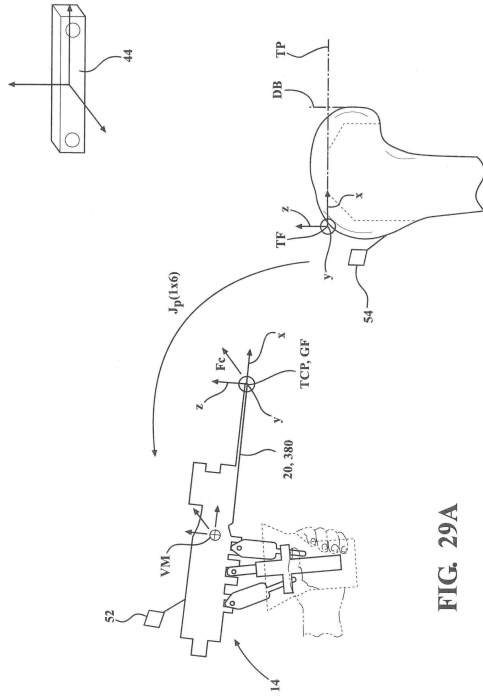


FIG. 29A

【図 29 B】

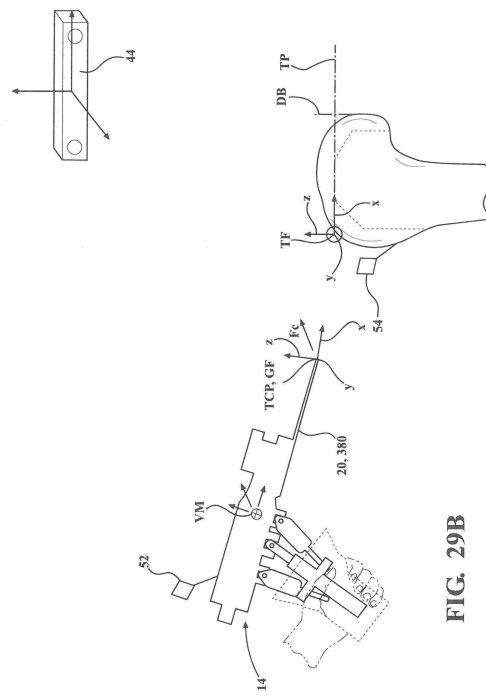


FIG. 29B

【図 29 C】

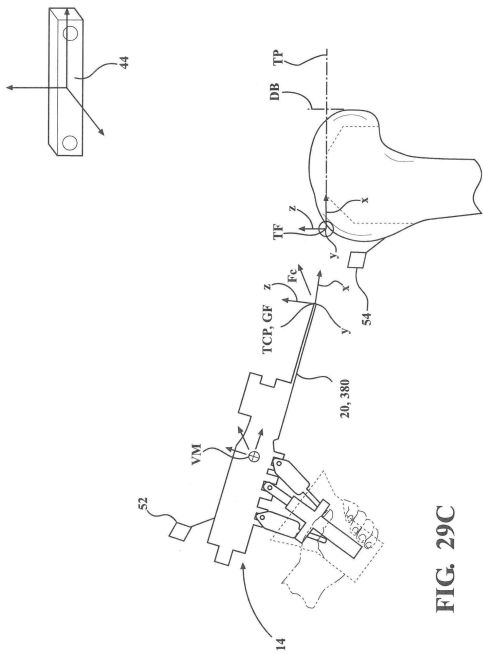


FIG. 29C

【図 29 D】

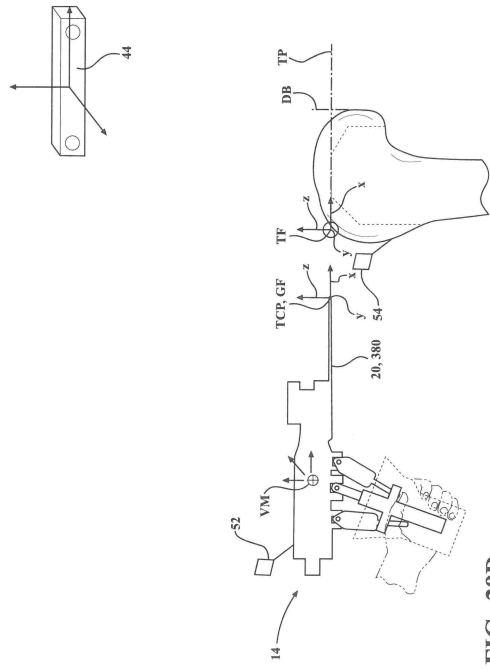


FIG. 29D

10

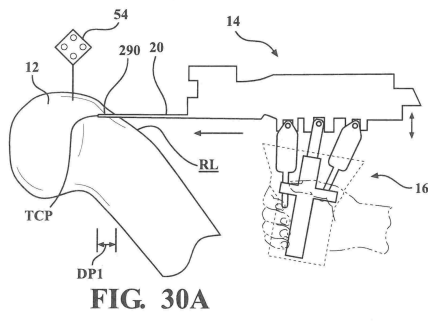
20

30

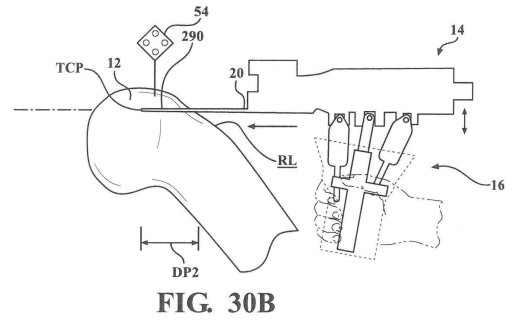
40

50

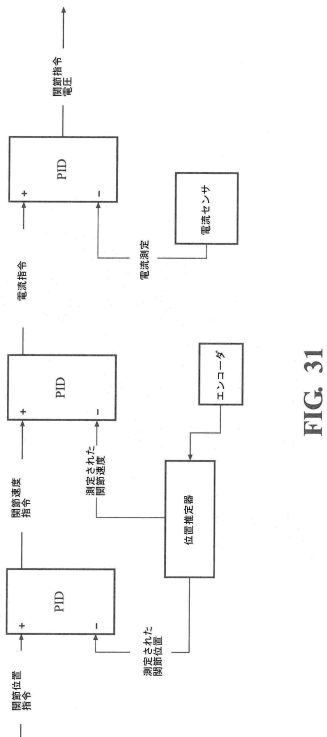
【図 30 A】



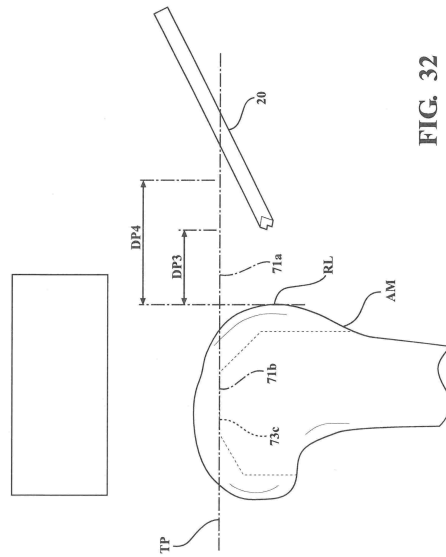
【図 30 B】



【図 31】



【図 32】



10

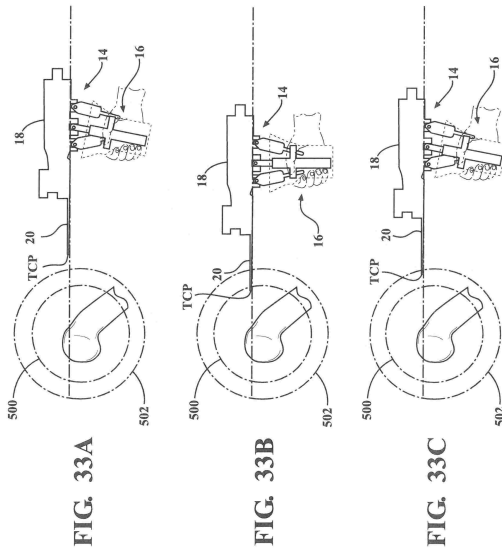
20

30

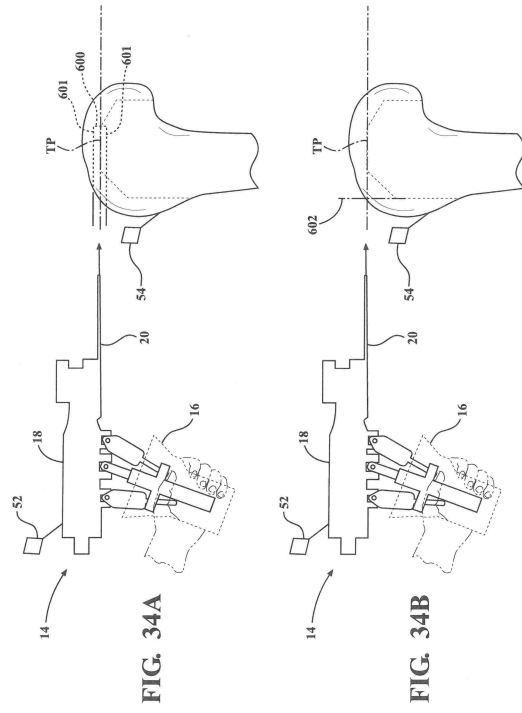
40

50

【図 3 3 A - 3 3 C】



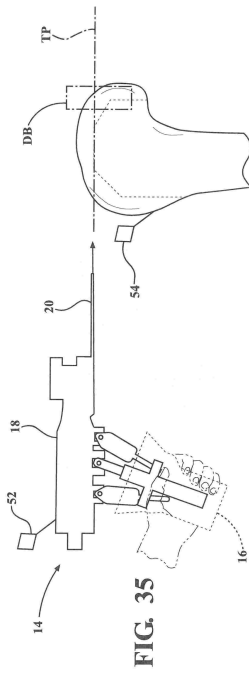
【図 3 4】



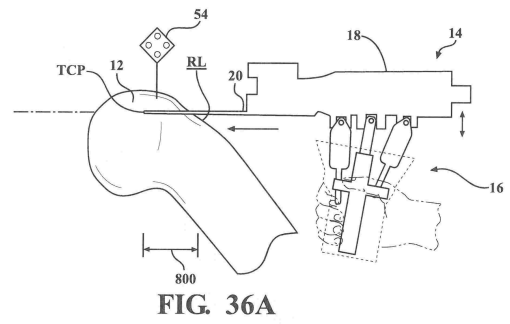
10

20

【図 3 5】



【図 3 6 A】

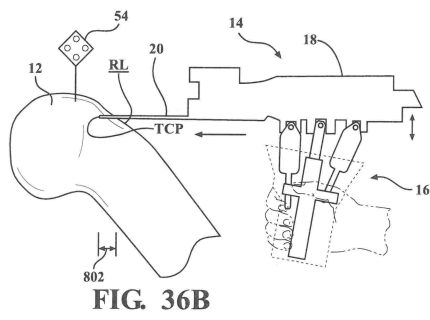


30

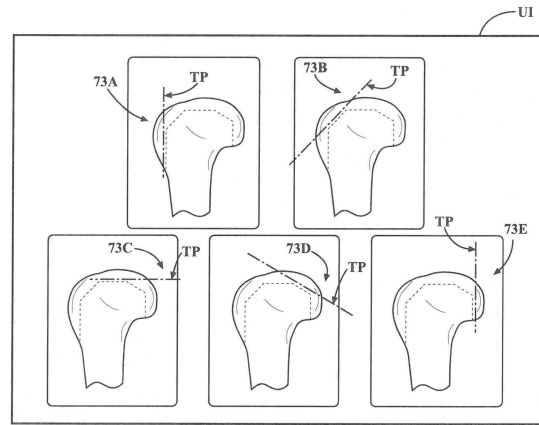
40

50

【図 36 B】



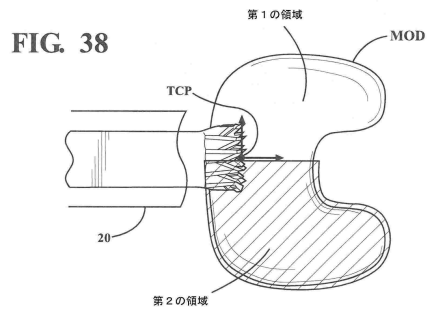
【図 37】



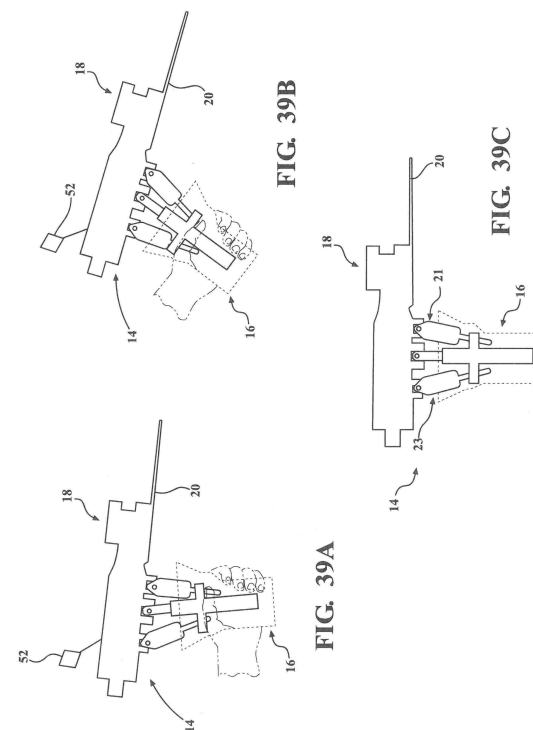
10

FIG. 37

【図 38】



【図 39 A - 39 C】



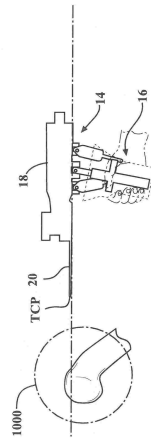
20

30

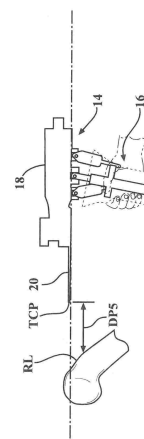
40

50

【図 4 0】



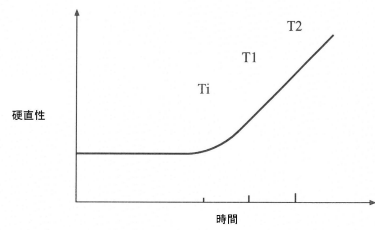
【図 4 1】



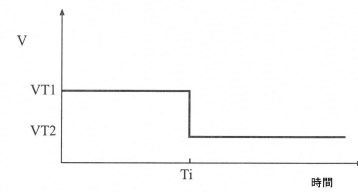
10

20

【図 4 2】



【図 4 3】



30

40

50

【図 4 4】

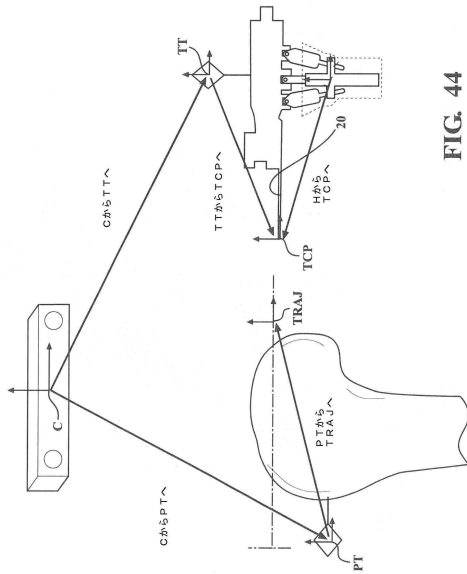


FIG. 44

【図 4 5】

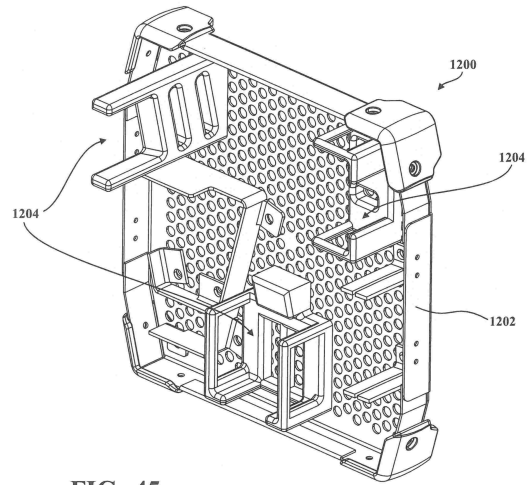


FIG. 45

10

20

【図 4 6 A - 4 6 B】

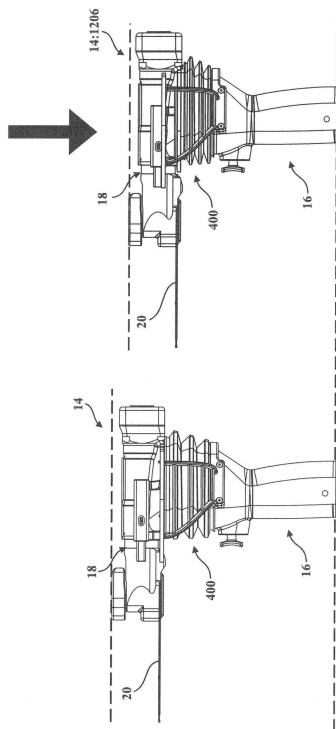


FIG. 46B

FIG. 46A

【図 4 7 A】

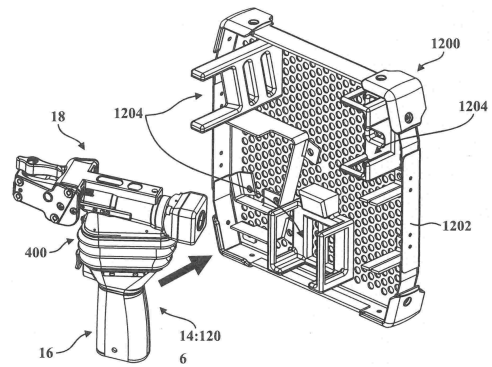


FIG. 47A

30

40

50

【図 47 B】

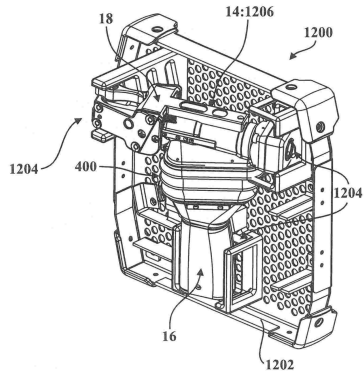


FIG. 47B

【図 48 A】

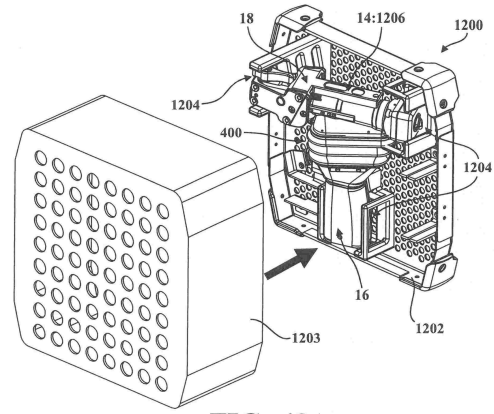


FIG. 48A

10

【図 48 B】

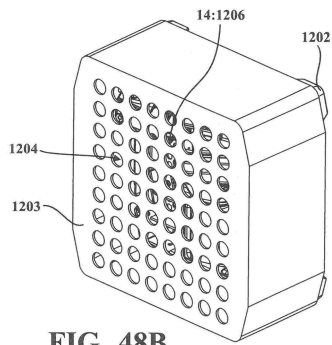


FIG. 48B

【図 49 A - 49 B】

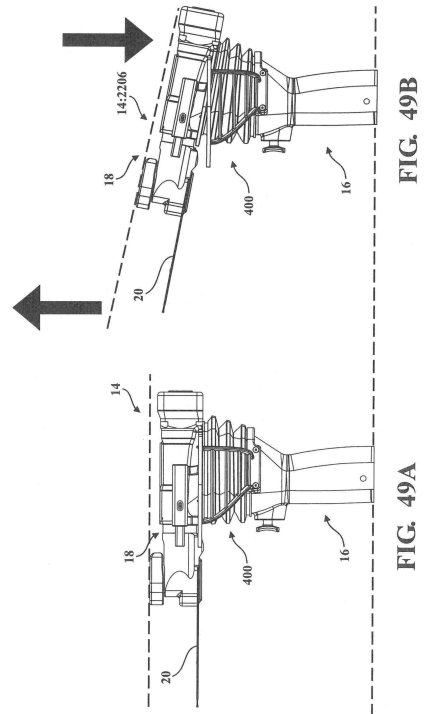


FIG. 49B

FIG. 49A

20

30

40

50

【図 5 0】

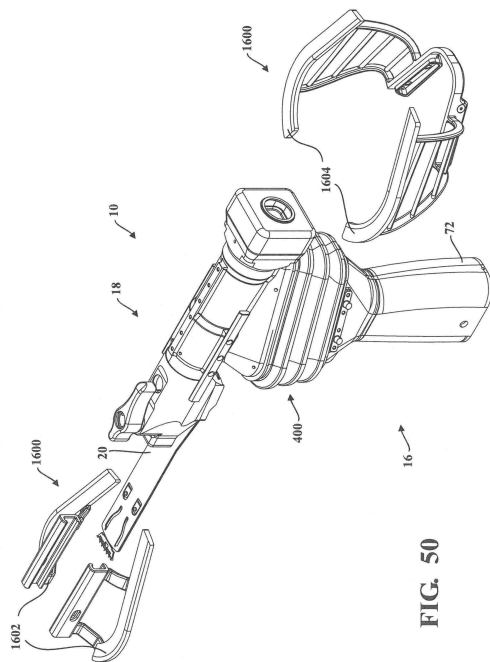


FIG. 50

【図 5 1】

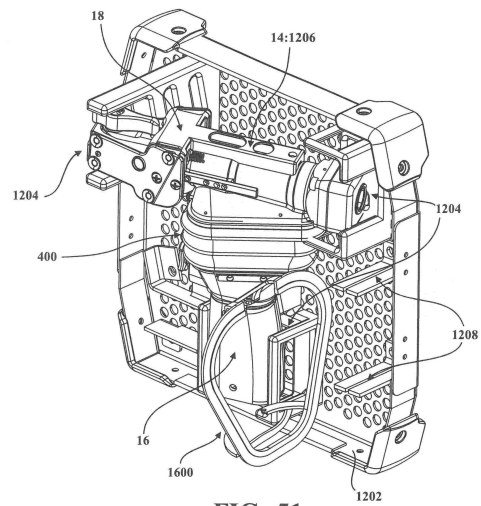


FIG. 51

10

20

【図 5 2】

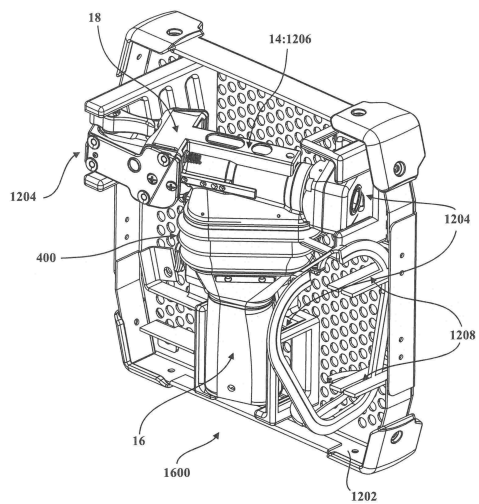


FIG. 52

【図 5 3】

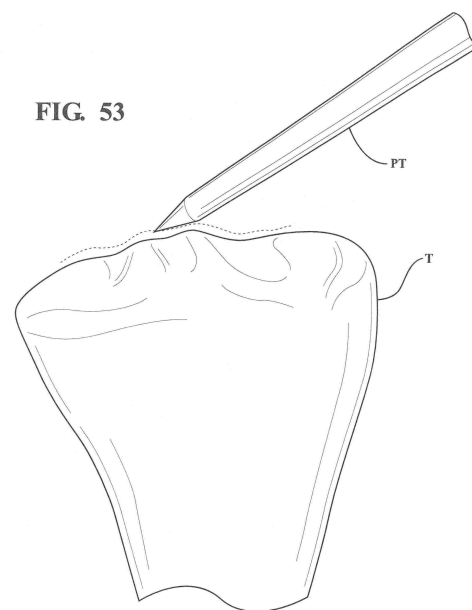


FIG. 53

30

40

50

【図 54】

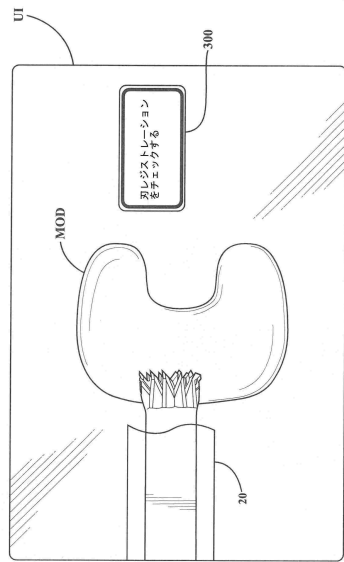


FIG. 54

10

20

30

40

50

【手続補正書】

【提出日】令和6年11月20日(2024.11.20)

【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】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

10

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記外科用ツールを配置するための、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

20

既知の座標系において、前記外科用ツールの状態を決定し、

前記既知の座標系に対する基準座標系の位置と向きとのいずれか又は両方を決定し、

前記外科用ツールの前記状態と前記基準座標系との間の第1の関係基準に基づいてガイドモードをアクティブ化し、

前記外科用ツールの前記状態と前記基準座標系との間の第2の関係基準に基づいて前記ガイドモードを非アクティブ化する

ように構成され、

前記第1の関係基準及び前記第2の関係基準は異なるものである、

手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項2】

30

前記ガイドモードは、前記外科用ツールを仮想オブジェクトと位置合わせするように前記複数のアクチュエータを制御するように動作可能なモードとして定義される、請求項1に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項3】

前記ガイドモードは、前記外科用ツールを前記仮想オブジェクトと位置合わせするように前記複数のアクチュエータを制御するように構成されたガイド制約のアクティブ化を含む、請求項2に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項4】

前記制御システムは、

前記ガイド制約に基づいて、目標姿勢に向けて仮想外科用ツールを動かすよう適合された制約力を算出する、制約ソルバと、

40

前記制約力に基づいて仮想シミュレーションにおいて前記仮想外科用ツールの動力学をシミュレートし、指令姿勢を出力する、仮想シミュレータと

を更に備え、前記制御システムは、前記指令姿勢に基づいて前記アクチュエータのそれぞれを制御するように更に構成されている、請求項3に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項5】

前記基準座標系は、前記既知の座標系と一致する、請求項1～4のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項6】

50

前記第 1 の関係基準は、第 1 の仮想オブジェクトに基づき、前記第 2 の関係基準は、第 2 の仮想オブジェクトに基づき、前記第 1 の仮想オブジェクト及び前記第 2 の仮想オブジェクトは、異なり、前記第 1 の仮想オブジェクト及び前記第 2 の仮想オブジェクトの姿勢は、前記基準座標系において定義される、請求項 1～5 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 7】

前記第 1 の仮想オブジェクトは、前記第 2 の仮想オブジェクトよりも小さく、前記第 1 の仮想オブジェクト及び前記第 2 の仮想オブジェクトはそれぞれ、体積領域を画定する、請求項 6 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 8】

前記第 1 の関係基準は、前記外科用ツールの前記姿勢に基づき、かつ前記第 1 の仮想オブジェクトに基づき、前記第 2 の関係基準は、前記外科用ツールの前記姿勢に基づき、かつ前記第 2 の仮想オブジェクトに基づく、請求項 7 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 9】

前記第 1 の関係基準は、前記外科用ツールの前記状態及び前記基準座標系に基づいて第 1 の距離パラメータを決定することに基づき、前記第 2 の関係基準は、前記外科用ツールの前記状態及び前記基準座標系に基づいて第 2 の距離パラメータを決定することに基づき、前記第 1 の距離パラメータは、前記第 2 の距離パラメータとは異なる、請求項 1～8 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 10】

前記第 1 の仮想オブジェクトは、メッシュに基づく、請求項 6～8 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 11】

前記基準座標系は、患者トラックに対して定義される、請求項 1～10 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 12】

前記基準座標系は、前記外科用ツールの目標姿勢に基づく、請求項 1～11 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 13】

前記ツールの前記状態は、前記ツールの姿勢である、請求項 1～12 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 14】

前記制御システムは、前記外科用ツールの前記状態と前記基準座標系との間の第 3 の関係基準に基づいて、前記器具がホーム状態に戻るように、前記複数の前記アクチュエータのそれぞれを制御するように更に構成されている、請求項 1～13 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 15】

前記制御システムは、前記ガイドモードがアクティブ化されているかどうかに基づいて前記第 3 の関係基準を決定する、請求項 14 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 16】

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 1～15 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 17】

前記器具は、2.72 キログラム（6 ポンド）未満の重量である、請求項 1～16 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項 18】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前記外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツ

10

20

30

40

50

ル支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かす、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において、前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの1つの姿勢と、前記外科用ツールの目標姿勢とを決定するように構成され、

ガイドモードにおいて前記制御システムは、前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの1つの姿勢と、前記外科用ツールの前記目標姿勢とに基づいて、前記外科用ツールを位置決めするように前記複数のアクチュエータを制御し、

前記ガイドモードと、前記器具がホーム状態をとる非ガイドモードとの間で遷移する入力信号を受信し、

前記入力信号を受信したことに応答して、

前記外科用ツールの前記目標姿勢及び前記外科用ツール、前記手持ち部分、又は前記ツール支持体の姿勢に基づいて、速度を決定し、

第1の期間中に前記速度及び第1の速度閾値に基づいて第1の速度で移動するように前記複数のアクチュエータを制御し、

第2の期間中に前記速度及び第2の速度閾値に基づいて第2の速度で移動するように前記複数のアクチュエータを制御する

ように構成されており、

前記第1の速度閾値は、前記第2の速度閾値よりも大きい又は小さいものである、

手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項19】

前記速度は、指令速度又は測定速度である、請求項18に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項20】

前記器具は、2.72キログラム（6ポンド）未満の重量である、請求項18又は19に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項21】

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項18～20のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項22】

前記第1の速度及び前記第2の速度は、直交座標基準フレームに対して定義される、請求項18～21のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項23】

前記第1の速度閾値及び前記第2の速度閾値は、前記外科用ツールの加速度の関数である速度制限関数に基づいて取得される、請求項18～22のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項24】

前記第2の速度閾値は、前記器具の前記手持ち部分をユーザの手の中で急激に移動させない力をもたらす、請求項18～23のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

【請求項25】

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に

10

20

30

40

50

対して複数の自由度で動かして、前記外科用ツールを配置するための、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

前記外科用ツールの状態を決定し、

患者の位置と向きとのいずれか又は両方を決定し、

前記外科用ツールの前記状態と前記患者又は患者の解剖学的構造の前記状態との間の第 1 の関係基準に基づいてガイドモードをアクティブ化し、

前記外科用ツールの前記状態と前記患者との間の第 2 の関係基準に基づいてガイドモードを非アクティブ化する

ように構成され、

前記第 1 の関係基準及び前記第 2 の関係基準は異なるものである、

手持ち式医療ロボットシステム。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0394

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0394】

図 5 1 及び図 5 2 を参照すると、滅菌容器 1200 は、第 2 の空隙 1208 を画定することができる。第 2 の空隙 1208 は、ツール位置合わせ部材 1602 及びハンドル位置合わせ部材 1604 が器具 14 から除去されると、ツール位置合わせ部材 1602 及びハンドル位置合わせ部材 1604 を受容し、ツール位置合わせ部材 1602 及びハンドル位置合わせ部材 1604 の滅菌を促進するように構成することができる。器具 14 の追加の構成要素は、器具 14 から取外し可能であってもよく、滅菌容器 1200 は、追加の構成要素の滅菌を促進するために、追加の構成要素を受容するように構成される追加の空隙を画定してもよいことが企図される。

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 ～ 16 8 の記載内容を以下に追加する。

(請求項 1)

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記外科用ツールを配置するための、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記外科用ツールの状態を決定し、

前記既知の座標系に対する基準座標系の位置と向きとのいずれか又は両方を決定し、

前記外科用ツールの前記状態と前記基準座標系との間の第 1 の関係基準に基づいてガイドモードをアクティブ化し、

前記外科用ツールの前記状態と前記基準座標系との間の第 2 の関係基準に基づいて前記ガイドモードを非アクティブ化する

ように構成され、

前記第 1 の関係基準及び前記第 2 の関係基準は異なるものである、

手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 2)

前記ガイドモードは、前記外科用ツールを仮想オブジェクトと位置合わせするように前記複数のアクチュエータを制御するように動作可能なモードとして定義される、請求項 1 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 3)

前記ガイドモードは、前記外科用ツールを前記仮想オブジェクトと位置合わせするように前記複数のアクチュエータを制御するように構成されたガイド制約のアクティブ化を含む、請求項 2 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 4)

前記制御システムは、

前記ガイド制約に基づいて、目標姿勢に向けて仮想外科用ツールを動かすよう適合された制約力を算出する制約ソルバと、

前記制約力に基づいて仮想シミュレーションにおいて前記仮想外科用ツールの動力学をシミュレートし、指令姿勢を出力する仮想シミュレータと

を更に備え、前記制御システムは、前記指令姿勢に基づいて前記アクチュエータのそれぞれを制御するように更に構成されている、請求項 3 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 5)

前記基準座標系は、前記既知の座標系と一致する、請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 6)

前記第 1 の関係基準は、第 1 の仮想オブジェクトに基づき、前記第 2 の関係基準は、第 2 の仮想オブジェクトに基づき、前記第 1 の仮想オブジェクト及び前記第 2 の仮想オブジェクトは、異なり、前記第 1 の仮想オブジェクト及び前記第 2 の仮想オブジェクトの姿勢は、前記基準座標系において定義される、請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 7)

前記第 1 の仮想オブジェクトは、前記第 2 の仮想オブジェクトよりも小さく、前記第 1 の仮想オブジェクト及び前記第 2 の仮想オブジェクトはそれぞれ、体積領域を画定する、請求項 6 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 8)

前記第 1 の関係基準は、前記外科用ツールの前記姿勢に基づき、かつ前記第 1 の仮想オブジェクトに基づき、前記第 2 の関係基準は、前記外科用ツールの前記姿勢に基づき、かつ前記第 2 の仮想オブジェクトに基づくものである、請求項 7 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 9)

前記第 1 の関係基準は、前記外科用ツールの前記状態及び前記基準座標系に基づいて第 1 の距離パラメータを決定することに基づき、前記第 2 の関係基準は、前記外科用ツールの前記状態及び前記基準座標系に基づいて第 2 の距離パラメータを決定することに基づき、前記第 1 の距離パラメータは、前記第 2 の距離パラメータとは異なる、請求項 1 ～ 8 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 10)

前記第 1 の仮想オブジェクトは、メッシュに基づく、請求項 6 ～ 8 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 11)

前記基準座標系は、患者トラッカに対して定義される、請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

10

20

30

40

50

(請求項 1 2)

前記基準座標系は、前記外科用ツールの目標姿勢に基づく、請求項 1 ～ 1 1 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 3)

前記ツールの前記状態は、前記ツールの姿勢である、請求項 1 ～ 1 2 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 4)

前記制御システムは、前記外科用ツールの前記状態と前記基準座標系との間の第 3 の関係基準に基づいて、前記器具がホーム状態に戻るよう、前記複数の前記アクチュエータのそれぞれを制御するように更に構成されている、請求項 1 ～ 1 3 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 5)

前記制御システムは、前記ガイドモードがアクティブ化されているかどうかに基づいて前記第 3 の関係基準を決定する、請求項 1 4 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 6)

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 1 ～ 1 5 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 7)

前記器具は、2.72 キログラム (6 ポンド) 未満の重量である、請求項 1 ～ 1 6 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 8)

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前記外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記外科用ツールを位置合わせするための、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記外科用ツールの目標姿勢と、前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの 1 つの姿勢とを決定し、

前記外科用ツールの前記目標姿勢と、前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの 1 つの姿勢とに基づいて前記複数のアクチュエータのそれぞれを制御し、

モータステータスを決定し、

前記モータステータスに基づいて、第 1 の駆動モータ制御基準及び第 2 の駆動モータ制御基準であって、前記第 1 の駆動モータ制御基準は、前記アクチュエータアセンブリの少なくとも 1 つのアクチュエータ又は関節のアクチュエータ位置又は関節の角度を含み、前記第 2 の駆動モータ制御基準は、境界に基づく、第 1 の駆動モータ制御基準及び第 2 の駆動モータ制御基準のうちの一方を選択し、

前記選択された駆動モータ制御基準に基づいて前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 9)

前記制御システムは、前記モータステータスが制限状態にあるとき、前記第 1 の駆動モータ制御基準を選択するように構成され、前記制限状態では、前記ツール駆動モータは、動作することを制限される、請求項 1 8 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 2 0)

10

20

30

40

50

前記制御システムは、前記モータステータスが許容状態にあるとき、前記第 2 の駆動モータ制御基準を選択するように構成され、前記許容状態では、前記ツール駆動モータは、動作することを許容される、請求項 19 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 21)

前記第 1 の駆動モータ制御基準は、前記アクチュエータ位置又は関節の角度及びアクチュエータ又は関節の閾値を含む、請求項 18 ～ 20 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 22)

前記制御システムは、前記モータステータスの遷移を決定するように構成され、前記制御システムは、前記遷移に基づいて、前記第 1 の駆動モータ制御基準及び前記第 2 の駆動モータ制御基準のうちの一方を選択するように構成されている、請求項 18 ～ 21 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 23)

前記第 2 の制御モータ基準は、前記外科用ツールの前記境界及び前記姿勢に基づく、請求項 18 ～ 21 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 24)

前記第 2 の駆動モータ制御基準が選択されると、前記制御システムは、前記外科用ツールの前記境界及び前記姿勢に基づいて、前記ツール駆動モータを前記許容状態から前記制限状態に遷移させるように構成されている、請求項 20 ～ 23 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 25)

前記境界は、インプラントの計画された姿勢に基づく、請求項 18 ～ 24 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 26)

前記ツールの前記目標姿勢は、前記インプラントの前記計画された姿勢に基づく、請求項 25 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 27)

前記第 1 の駆動モータ制御基準は、前記アクチュエータアセンブリの少なくとも 1 つのアクチュエータ又は関節の前記アクチュエータ位置又は関節の角度及び第 1 のアクチュエータ又は関節の閾値に基づき、前記制御システムは、前記アクチュエータアセンブリの前記少なくとも 1 つのアクチュエータ又は関節の前記アクチュエータ位置又は関節の角度及び前記第 1 のアクチュエータ閾値に基づいて前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 24 ～ 26 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 28)

前記第 1 のアクチュエータ又は関節の閾値は、値の範囲として更に定義される、請求項 27 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 29)

前記第 1 のアクチュエータ又は関節の閾値は、第 1 のアクチュエータ閾値であり、前記制御システムは、前記アクチュエータ位置及び前記第 1 のアクチュエータ閾値に基づいて前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 27 又は 28 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 30)

前記駆動モータを制御するように構成された前記制御システムは、前記モータステータスが前記制限状態にあるとき、前記第 1 のアクチュエータ又は関節の閾値及び前記アクチュエータ位置又は関節の角度値に基づいて、前記駆動モータを前記許容状態に遷移させるように更に構成されている、請求項 27 ～ 29 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 31)

前記駆動モータを制御するように構成された前記制御システムは、前記モータステータスが前記制限状態にある場合、前記アクチュエータ位置又は関節の角度値が前記第 1 のア

10

20

30

40

50

クチュエータ又は関節の閾値の範囲内にあるとき、前記駆動モータを前記許容状態に移移させるように更に構成されている、請求項 27～30 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 32)

前記器具は、2.72 キログラム (6 ポンド) 未満の重量である、請求項 27～31 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 33)

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 27～32 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 34)

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記外科用ツールの動きを駆動するツール駆動モータを備え、前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を動かして、前記外科用ツールを前記手持ち部分に対して複数の制御された自由度で動かして、前記外科用ツールを所望の姿勢に配置するための、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であって、少なくとも 1 つの制御されない自由度において前記外科用ツールを再位置決めすることができないものである、アクチュエータアセンブリとを備える器具と、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ及び前記ローカライザに結合された制御システムとを備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記外科用ツールの状態及び前記外科用ツールの目標姿勢を決定し、

前記ツールの前記状態及び前記外科用ツールの前記目標姿勢に基づいて前記複数の制御された自由度で前記外科用ツールを位置決めするように前記複数のアクチュエータを制御し、

前記ツール駆動モータのモータステータスを決定し、

前記モータステータスに基づいて境界を選択し、

前記少なくとも 1 つの制御されない自由度における前記外科用ツールの前記状態に基づいて、かつ前記選択された境界に基づいて、前記ツール駆動モータを制御する

ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 35)

前記モータステータスは、許容状態及び制限状態から選択され、前記許容状態では、前記ツール駆動モータは、動作することを許容され、前記制限状態では、前記ツール駆動モータは、動作することを制限され、前記境界は、第 1 の境界として更に特徴付けられ、前記制御システムは、前記第 1 の境界及び第 2 の境界から選択するように構成され、前記制御システムは、前記ツール駆動モータが前記制限状態にあるとき、前記第 2 の境界を選択するように構成され、前記制御システムは、前記ツール駆動モータが許容状態にあるとき、前記第 1 の境界を選択するように構成されている、請求項 34 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 36)

前記制御システムは、前記少なくとも 1 つの制御されない自由度における前記外科用ツールの前記状態に基づいて、かつ前記選択された境界に基づいて、前記ツール駆動モータを停止させることによって、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 35 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 37)

前記器具は、2.72 キログラム (6 ポンド) 未満の重量である、請求項 34～36 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 38)

10

20

30

40

50

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 3 4 ～ 3 7 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 3 9)

前記第 1 の境界は、第 1 の仮想オブジェクトによって画定され、前記第 2 の境界は、第 2 の仮想オブジェクトによって画定され、前記第 1 の仮想オブジェクト及び前記第 2 の仮想オブジェクトは異なるものである、請求項 3 5 ～ 3 8 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 4 0)

前記第 1 の仮想オブジェクトは、第 1 の平面であり、前記第 2 の仮想オブジェクトは、第 2 の平面であり、前記第 1 の平面は、前記第 2 の平面に平行である、請求項 3 9 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 4 1)

前記制御システムは、前記ツール及び前記第 1 の仮想オブジェクトの前記状態に基づいて、前記ツール駆動モータを前記許容状態から前記制限状態に遷移させることによって、前記ツール駆動モータを制御するように構成され、前記制御システムは、前記ツール及び前記第 2 の仮想オブジェクトの前記状態に基づいて、前記ツール駆動モータを前記制限状態から遷移させることによって、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 4 0 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 4 2)

前記第 1 の境界は、インプラントの計画された姿勢に基づく、請求項 3 5 ～ 4 1 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 4 3)

前記ツールの前記目標姿勢は、前記インプラントの計画された姿勢に基づく、請求項 4 2 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 4 4)

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記外科用ツールの動きを駆動するツール駆動モータを備え、前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を動かして、前記外科用ツールを前記手持ち部分に対して複数の制御された自由度で動かして、前記外科用ツールを所望の姿勢に配置する、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であって、少なくとも 1 つの制御されない自由度において前記外科用ツールを再位置決めすることができないものであるアクチュエータアセンブリとを備える器具と、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ及び前記ローカライザに結合された制御システムとを備え、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記外科用ツールの状態及び前記外科用ツールの目標姿勢を決定し、

前記外科用ツールの前記状態及び前記外科用ツールの前記目標姿勢に基づいて前記複数の制御された自由度で前記外科用ツールを位置決めするように前記複数のアクチュエータを制御し、

前記ツール駆動モータのモータステータスを決定し、

前記モータステータスに関する距離パラメータを選択し、

前記少なくとも 1 つの制御されない自由度における前記外科用ツールの前記状態と、前記選択された距離パラメータとに基づいて、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 4 5)

前記モータステータスは、許容状態及び制限状態から選択され、前記許容状態では、前記ツール駆動モータは、動作することを許容され、前記制限状態では、前記ツール駆動モ

10

20

30

40

50

ータは、動作することを制限され、前記距離パラメータは、第 1 の距離パラメータとして特徴付けられ、前記制御システムは、前記ツール駆動モータが許容状態にあるとき、前記第 1 の距離パラメータを選択するように構成され、前記制御システムは、前記ツール駆動モータが前記制限状態にあるとき、第 2 の距離パラメータを選択するように構成され、前記第 1 の距離パラメータ及び前記第 2 の距離パラメータは、異なる、請求項 4 4 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 4 6)

前記制御システムは、前記少なくとも 1 つの制御されない自由度における前記外科用ツールの前記状態に基づいて、かつ前記選択された距離パラメータに基づいて、前記ツール駆動モータを停止させることによって、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 4 5 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

10

(請求項 4 7)

前記器具は、2.72 キログラム (6 ポンド) 未満の重量である、請求項 4 4 ~ 4 6 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 4 8)

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 4 4 ~ 4 7 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 4 9)

前記第 1 の距離パラメータは、インプラントの計画された姿勢に基づく、請求項 4 5 ~ 4 8 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

20

(請求項 5 0)

前記ツールの前記目標姿勢は、前記インプラントの前記計画された姿勢に基づく、請求項 4 9 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 5 1)

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記外科用ツールの動きを駆動するツール駆動モータを備え、前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を動かして、前記外科用ツールを前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記外科用ツールを所望の姿勢に配置するための、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、

30

ツールに結合される第 1 のトラックと、

患者に結合される第 2 のトラックと、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ及び前記ローカライザに結合された制御システムとを備えてなり、

前記制御システムは、

前記第 1 のトラックに基づいて前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの 1 つの姿勢を決定し、前記第 2 のトラックに基づいて、患者の解剖学的構造の部分の姿勢を決定し、

40

前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの 1 つの前記姿勢と、前記患者の解剖学的構造の前記部分の前記姿勢とに基づいて前記外科用ツールを位置決めするように、前記複数のアクチュエータを制御し、

前記第 1 のトラック及び前記第 2 のトラックのうちの一方について遮断事象が発生したと決定し、

前記遮断事象に基づいて前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 5 2)

前記制御システムは、前記ツール駆動モータが動作を制限される制限状態に前記ツール駆動モータが配置されるように、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている

50

、請求項 5 1 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 5 3)

前記制御システムは、前記ツール駆動モータが動作することが許容される許容状態に前記ツール駆動モータが配置されるように、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 5 2 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 5 4)

前記制御システムは、モータステータスに基づいて、第 1 の期間又は第 2 の期間を選択し、前記遮断事象に基づいて、かつ前記第 1 の期間及び前記第 2 の期間のうちの前記選択された一方に基づいて、前記ツール駆動モータを制御するように更に構成されている、請求項 5 3 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 5 5)

前記制御システムは、前記モータステータスが前記許容状態にあるときに前記第 1 の期間を選択し、前記モータステータスが前記制限状態にあるときに前記第 2 の期間を選択するように構成され、前記第 1 の期間は、前記第 2 の期間とは異なる、請求項 5 4 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 5 6)

前記第 1 のトラック及び前記第 2 のトラックは、光学追跡要素を含む、請求項 5 5 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 5 7)

前記第 1 の期間は前記第 2 の期間よりも長い、請求項 5 5 又は 5 6 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 5 8)

前記制御システムは、前記遮断事象が前記第 1 の期間を超える持続時間を有するとき、前記ツール駆動モータを前記許容状態から前記制限状態に移させるように構成されている、請求項 5 5 ～ 5 7 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 5 9)

前記制御システムは、前記第 2 の期間を超える持続時間にわたって遮断事象が存在しない場合に、前記ツール駆動モータを前記制限状態から前記許容状態に移させるように構成されている、請求項 5 5 ～ 5 8 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 6 0)

前記光学追跡要素は、LED である、請求項 5 6 ～ 5 9 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 6 1)

前記器具は、2.72 キログラム (6 ポンド) 未満の重量である、請求項 5 1 ～ 6 0 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 6 2)

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 5 1 ～ 6 1 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 6 3)

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記外科用ツールの動きを駆動するツール駆動モータを備え、前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を動かして、前記外科用ツールを前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記外科用ツールを所望の姿勢に配置するための、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、

前記器具に結合される第 1 のトラックと、

患者に結合された第 2 のトラックと、

ローカライザと、

10

20

30

40

50

前記複数のアクチュエータ及び前記ローカライザに結合された制御システムと
を備えてなり、
前記制御システムは、
既知の座標系において、前記第１のトラックに基づいて前記外科用ツール、前記手持ち
部分、及び前記ツール支持体のうちの１つの姿勢を決定し、前記第２のトラックに基づい
て患者の解剖学的構造の部分の姿勢を決定し、
前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの１つの前記姿勢と
、前記患者の解剖学的構造の前記部分の前記姿勢とに基づいて、前記外科用ツールを位置
決めするように、前記複数のアクチュエータを制御し、
モータステータスを決定し、
前記第１のトラック及び前記第２のトラックのうちの少なくとも一方の追跡ステータス
を決定し、
前記モータステータス及び前記追跡ステータスに基づいて、第１の駆動モータ制御基準
及び第２の駆動モータ制御基準であって、前記第１の駆動モータ制御基準は、第１の期間
を含み、前記第２の駆動モータ制御基準は、第２の期間を含み、前記第１の期間は、前記
第２の期間とは異なる、第１の駆動モータ制御基準及び第２の駆動モータ制御基準のうち
の一方を選択し、
前記選択された駆動モータ制御基準に基づいて、前記ツール駆動モータを制御する
ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。
(請求項６４)
前記制御システムは、前記モータステータスが許容状態にあり、前記追跡ステータスが
前記第１のトラック及び前記第２のトラックのうちの少なくとも一方に対して遮断され、
前記許容状態では、前記ツール駆動モータが動作することを許容されるとき、前記第１の
駆動モータ制御基準を選択するように構成されている、請求項６３に記載の手持ち式医療
ロボットシステム。
(請求項６５)
前記制御システムは、前記モータステータスが制限状態にあり、前記追跡ステータスが
前記第１のトラック及び前記第２のトラックの両方について遮断されていないとき、前記
第２の駆動モータ制御基準を選択するように構成され、前記制限状態では、前記ツール駆
動モータは、動作することを制限される、請求項６４に記載の手持ち式医療ロボットシス
テム。
(請求項６６)
前記第１の期間は、前記第２の期間よりも短い、請求項６３～６５のいずれか一項に記
載の手持ち式医療ロボットシステム。
(請求項６７)
前記制御システムは、前記追跡ステータスが遮断されている持続時間及び前記第１の期
間に基づいて、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項６５に記
載の手持ち式医療ロボットシステム。
(請求項６８)
前記制御システムは、前記追跡ステータスが遮断されている前記持続時間が前記第１の
期間を超えると、前記ツール駆動モータを制限状態に設定するように構成されている、
請求項６７に記載の手持ち式医療ロボットシステム。
(請求項６９)
前記制御システムは、前記追跡ステータスが遮断されていない持続時間及び前記第２の
期間に基づいて、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項６５～
６８のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。
(請求項７０)
前記制御システムは、前記追跡ステータスが遮断されていない前記持続時間が前記第２
の期間を超えると、前記ツール駆動モータを許容状態に設定するように構成されている
、請求項６９に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

10

20

30

40

50

(請求項 7 1)

前記器具は、2.72キログラム(6ポンド)未満の重量である、請求項63～70のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 7 2)

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項63～70のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 7 3)

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前記外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かす、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ及び前記ローカライザに結合された制御システムとを備えてなり、

前記制御システムは、

前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの1つの姿勢と、前記外科用ツールの目標姿勢とを決定し、

前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの1つの姿勢と、前記外科用ツールの前記目標姿勢とに基づいて前記外科用ツールを位置決めするように前記複数のアクチュエータを制御し、

前記複数のアクチュエータを前記器具のホーム状態に移動させたいという要望を示す入力信号を受信し、

前記入力信号に基づいて前記器具の初期状態を決定し、

前記器具の前記初期状態に基づいて前記システムを制御するように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 7 4)

前記制御システムは、前記初期状態に基づいて前記ユーザに指標を提供するように構成されている、請求項73に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 7 5)

前記指標は、触覚アラート、視覚アラート、又は音声アラートである、請求項74に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 7 6)

前記制御システムは、前記器具の前記初期状態に基づいて前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項73～75のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 7 7)

前記制御システムは、前記初期状態及び第1の仮想オブジェクトに基づいて、前記システムを制御するように構成されている、請求項73～76のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 7 8)

前記制御システムは、前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの1つの姿勢に基づいて距離を決定し、前記初期状態及び前記距離に基づいて前記システムを制御するように構成されている、請求項77に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 7 9)

前記制御システムは、前記器具の前記初期状態及び前記ホーム状態に基づいて前記手持ち部分に対する前記ツール支持体の位置合わせの程度を決定することに基づいて、前記器具の前記初期状態に基づいて前記システムを制御するように構成されている、請求項73

10

20

30

40

50

～ 7 8 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 8 0)

前記位置合わせの程度は、前記器具の前記初期状態における前記複数のアクチュエータのうちの少なくとも 1 つのアクチュエータの位置と、前記ホーム状態に対応する前記少なくとも 1 つのアクチュエータの位置とを決定することによって算出される、請求項 7 9 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 8 1)

前記位置合わせの程度は、前記器具が前記初期状態にある間の前記外科用ツール、前記ツール支持体、又は前記手持ち部分の姿勢と、前記器具が前記ホーム状態にある間の前記外科用ツール、前記ツール支持体、又は前記手持ち部分の前記姿勢とに基づいて算出される、請求項 7 9 又は 8 0 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 8 2)

前記制御システムは、前記位置合わせの程度に基づいて前記ユーザに指標を提供するように構成されている、請求項 7 9 ～ 8 1 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 8 3)

前記指標は、触覚アラート、視覚アラート、又は音声アラートである、請求項 8 2 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 8 4)

前記制御システムは、前記入力信号及び前記位置合わせの程度に基づいて前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 7 9 ～ 8 3 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 8 5)

前記制御システムは、前記制御システムが前記入力信号を受信した前記時点での前記位置合わせの程度及び位置合わせ閾値に基づいて、前記ツール駆動モータを制限状態に設定するように構成されている、請求項 7 9 ～ 8 4 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 8 6)

前記制御システムは、前記制御システムが前記入力信号を受信した前記時点での前記位置合わせの程度が前記位置合わせ閾値を超えた場合に、前記ツール駆動モータを前記制限状態に設定するように構成されている、請求項 8 5 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 8 7)

前記器具の前記ホーム状態は、前記アクチュエータのそれぞれが中間位置にあることによって定義される、請求項 7 3 ～ 8 6 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 8 8)

前記器具の前記ホーム状態は、前記アクチュエータのそれぞれが各アクチュエータの可動域の 4 0 % ～ 6 0 % の位置にあることによって定義される、請求項 7 3 ～ 8 7 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 8 9)

前記制御システムは、前記位置合わせの程度及び仮想オブジェクトに基づいて、前記システムを制御するように構成されている、請求項 7 9 ～ 8 8 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 9 0)

前記制御システムは、前記外科用ツール、前記手持ち部分、又は前記ツール支持体の姿勢に基づいて距離を決定し、前記距離に基づいて前記システムを制御するように構成されている、請求項 8 9 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 9 1)

前記器具の前記初期状態は、前記ツール支持体又は前記手持ち部分の指令姿勢又は測定

10

20

30

40

50

された姿勢に基づいて計算される、請求項 79～90 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 92)

前記器具は、2.72キログラム(6ポンド)未満の重量である、請求項 79～90 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 93)

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 79～92 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 94)

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、前記手持ち式医療ロボットシステムは、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前記外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かす、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記外科用ツールの目標姿勢を決定し、

前記既知の座標系において、前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの1つの姿勢を決定し、

前記外科用ツールの前記目標姿勢、前記手持ち部分又はツール支持体の前記姿勢、及びガイド制約調整パラメータであって、第1の値を有するガイド制約調整パラメータに基づいてガイド制約を生成し、

前記複数のアクチュエータのうちの少なくとも1つのアクチュエータの位置と、前記複数のアクチュエータのうちの少なくとも1つのアクチュエータのセンタリング位置と、関節センタリング調整パラメータであって、第2の値を有する関節センタリング調整パラメータとに基づいて関節センタリング制約を生成し、

前記システムがガイドモードで動作している間に、前記ガイド制約に基づいて、前記複数のアクチュエータのそれぞれの指令された関節位置を決定し、

前記ガイドモードから非ガイドモードに遷移する際に、前記関節センタリング制約に基づいて、指令された関節位置を決定する

ように構成されており、前記関節センタリング調整パラメータの前記値は、前記ガイド制約調整パラメータの前記値とは異なるものである、手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 95)

前記関節センタリング調整パラメータは、前記関節センタリング制約の硬直性又は減衰に影響を及ぼす、請求項 94 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 96)

前記外科用ツールの前記目標姿勢は、前記既知の座標系における、第1の自由度における位置、第1の角度、及び第2の角度によって定義される、請求項 94 又は 95 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 97)

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 94～96 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 98)

前記器具は、2.72キログラム(6ポンド)未満の重量である、請求項 94～97 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

10

20

30

40

50

(請求項 99)

入力デバイスを更に備え、

前記制御システムは、前記入力デバイスによって提供される入力信号の受信に基づいて、前記ガイドモードから前記非ガイドモードに遷移するように構成されている、請求項 94～98 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 100)

入力デバイスを更に備え、

前記制御システムは、前記入力デバイスによって提供される入力信号の受信に基づいて、前記非ガイドモードから前記ガイドモードに遷移するように構成されている、請求項 94～99 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 101)

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前記外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かす、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において、前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの 1 つの姿勢と、前記外科用ツールの目標姿勢とを決定するように構成され、

ガイドモードにおいて前記制御システムは、前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの 1 つの姿勢と、前記外科用ツールの前記目標姿勢とに基づいて、前記外科用ツールを位置決めするように、前記複数のアクチュエータを制御し、

前記ガイドモードと、前記器具がホーム状態をとる非ガイドモードとの間で遷移する入力信号を受信し、

前記入力信号を受信したことに応答して、前記外科用ツールの前記目標姿勢及び前記外科用ツール、前記手持ち部分、又は前記ツール支持体の姿勢に基づいて速度を決定し、

第 1 の期間中に前記速度及び第 1 の速度閾値に基づいて第 1 の速度で移動するように前記複数のアクチュエータを制御し、

第 2 の期間中に前記速度及び第 2 の速度閾値に基づいて第 2 の速度で移動するように前記複数のアクチュエータを制御する

ように構成されており、

前記第 1 の速度閾値は、前記第 2 の速度閾値よりも大きいか又は小さいものである、

手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 102)

前記速度は、指令速度又は測定速度である、請求項 101 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 103)

前記器具は、2.72 キログラム (6 ポンド) 未満の重量である、請求項 101 又は 102 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 104)

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 101～103 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 105)

前記第 1 の速度及び前記第 2 の速度は、直交座標基準フレームに対して定義される、請求項 101～104 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

10

20

30

40

50

(請求項 1 0 6)

前記第 1 の速度閾値及び前記第 2 の速度閾値は、前記外科用ツールの加速度の関数である速度制限関数に基づいて取得される、請求項 1 0 1 ～ 1 0 5 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 0 7)

前記第 2 の速度閾値は、前記器具の前記手持ち部分をユーザの手の中で急激に移動させない力をもたらす、請求項 1 0 1 ～ 1 0 6 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 0 8)

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、
手持ち式器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に移動可能に結合されていて、鋸駆動モータを含む刃支持体と、前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、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手持ち式器具と、

ローカライザと、

制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において鋸刃の目標姿勢を決定し、

前記既知の座標系において前記鋸刃の状態を決定し、

器具がホーム状態をとる非ガイドモードと、前記複数のアクチュエータがガイド制約に基づいて前記鋸刃を位置合わせするように制御されるガイドモードとの間で遷移する入力信号の受信に基づいて調整パラメータの値を決定し、

前記鋸刃の前記目標姿勢及び前記手持ち部分又は前記ツール支持体の前記姿勢に基づいて、かつ前記調整パラメータの前記値に基づいて前記ガイド制約を生成し、

前記ガイド制約に基づいて仮想鋸刃を動かすよう適合された制約力を算出し、

前記制約力に基づいて仮想シミュレーションにおいて前記仮想鋸刃の動力学をシミュレートし、前記仮想シミュレーションに基づいて指令姿勢を出力し、

前記指令姿勢に基づいて複数のアクチュエータのそれぞれを制御する

ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 0 9)

前記調整パラメータの前記値は、時間の関数によって定義される、請求項 1 0 8 に記載のシステム。

(請求項 1 1 0)

前記関数は、前記非ガイドモードと前記ガイドモードとの間で遷移する前記入力信号の受信に基づいて開始される、請求項 1 0 9 に記載のシステム。

(請求項 1 1 1)

前記関数は、前記調整パラメータの前記値が経時的に変化するように定義される、請求項 1 0 9 又は 1 1 0 に記載のシステム。

(請求項 1 1 2)

前記関数は、前記ツール支持体が第 2 の時間よりも第 1 の時間においてより遅く移動することをもたらす、前記第 2 の時間は、前記第 1 の時間の後であり、前記第 1 の時間は、前記入力信号の受信の後である、請求項 1 1 1 に記載のシステム。

(請求項 1 1 3)

前記器具は、2.72 キログラム（6 ポンド）未満の重量である、請求項 1 0 8 ～ 1 1 2 のいずれか一項に記載のシステム。

(請求項 1 1 4)

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 1 0 8 ～ 1 1 3 のいずれか一項に記載のシステム。

(請求項 1 1 5)

10

20

30

40

50

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、
器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、外
科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支
持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に
対して複数の自由度で動かして前記外科用ツールを配置するための、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、
ローカライザと、
前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合され
た制御システムと
を備えてなり、
前記制御システムは、
前記外科用ツールの状態を決定し、
患者の位置と向きとのいずれか又は両方を決定し、
前記外科用ツールの前記状態と前記患者又は患者の解剖学的構造の前記状態との間の第
1 の関係基準に基づいてガイドモードをアクティブ化し、
前記外科用ツールの前記状態と前記患者との間の第 2 の関係基準に基づいてガイドモー
ドを非アクティブ化する
ように構成され、
前記第 1 の関係基準及び前記第 2 の関係基準は異なるものである、
手持ち式医療ロボットシステム。

10

20

30

40

50

(請求項 1 1 6)
外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、
器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前
記外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツ
ール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部
分に対して複数の自由度で動かす、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、
ローカライザと、
前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合され
た制御システムと
を備えてなり、
前記制御システムは、
既知の座標系において前記外科用ツールの目標姿勢を決定し、
前記既知の座標系において前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体
のうちの 1 つの姿勢を決定し、
前記外科用ツールの前記目標姿勢、及び前記外科用ツール、前記手持ち部分、又は前記
ツール支持体の前記姿勢に基づいて、少なくとも 1 つのガイド制約方向と、各ガイド制約
方向に沿って測定される少なくとも 1 つのガイド制約誤差とを含むガイド制約を生成し、
前記ガイド制約に基づいて前記複数のアクチュエータのそれぞれの指令された関節位置
を決定し、
前記ガイド制約方向及び前記ガイド制約誤差に基づいて前記ツール駆動モータを制御する
ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 1 7)
前記制御システムは、前記外科用ツールの前記目標姿勢及び前記手持ち部分又は前記ツ
ール支持体の前記姿勢に基づいて第 2 のガイド制約を生成するように構成され、前記ガイ
ド制約は、第 1 のガイド制約であり、前記ガイド制約方向は、第 1 のガイド制約方向であ
り、前記ガイド制約誤差は、第 1 のガイド制約誤差であり、前記第 1 のガイド制約方向は
、第 1 の自由度にあり、前記第 2 のガイド制約は、前記第 1 の自由度とは異なる第 2 の自
由度にある第 2 のガイド制約方向を有し、前記制御システムは、前記第 1 のガイド制約及
び前記第 2 のガイド制約に基づいて、前記ツール駆動モータを制御するように構成されて

いる、請求項 1 1 6 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 1 8)

前記制御システムは、前記ガイド制約誤差及びガイド制約誤差閾値に基づいて、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 1 1 7 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 1 9)

前記第 1 のガイド制約方向は、第 1 の自由度内にあり、前記第 1 の自由度は、並進自由度又は向き自由度である、請求項 1 1 8 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 2 0)

第 1 の自由度は、並進自由度であり、前記ガイド制約誤差閾値は、並進閾値である、請求項 1 1 9 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 2 1)

前記制御システムは、前記ガイド制約誤差に基づいて前記ツール駆動モータを制御するように構成され、前記ガイド制約誤差閾値は、誤差範囲である、請求項 1 1 9 又は 1 2 0 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 2 2)

前記誤差範囲は、ゼロの中央値に関して非対称である、請求項 2 1 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 2 3)

前記並進閾値は、第 1 の並進閾値及び第 2 の並進閾値として更に定義され、前記制御システムは、前記既知の座標系における前記外科用ツール、前記手持ち部分、及び前記ツール支持体のうちの 1 つの前記姿勢に基づいて、前記第 1 の並進閾値及び第 2 の並進閾値のうちの一方を選択するように構成され、前記第 1 の並進閾値及び前記第 2 の並進閾値は、異なる、請求項 1 2 0 ～ 1 2 2 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 2 4)

前記制御システムは、前記既知の座標系におけるインプラントの計画された姿勢を受信するように構成され、前記外科用ツールの前記目標姿勢は、前記インプラントの前記計画された姿勢に基づく、請求項 1 1 6 ～ 1 2 3 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 2 5)

前記外科用ツールの前記目標姿勢は、前記既知の座標系における、第 1 の自由度における位置、第 1 の角度、及び第 2 の角度によって定義される、請求項 1 2 4 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 2 6)

前記外科用ツールは、鋸刃である、請求項 1 2 4 又は 1 2 5 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 2 7)

前記ガイド制約方向は、回転軸又は並進方向を記述する単位ベクトルである、請求項 1 1 6 ～ 1 2 6 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 2 8)

前記ガイド制約誤差は、前記回転軸の周りの角度又は前記並進方向の周りの距離である、請求項 1 2 7 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 2 9)

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、鋸駆動モータを含み、鋸刃を支持するために前記手持ち部分に結合された刃支持体と、前記刃支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記刃支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記鋸刃を配置するための、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、

ローカライザと、

10

20

30

40

50

第 2 の器具と、
前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記鋸駆動モータに結合された制御システムと
を備えてなり、
前記制御システムは、
外科用インプラントの計画された姿勢を受信し、
前記外科用インプラントの前記計画された姿勢に基づいて複数の目標切断面を決定し、
前記第 2 の器具の位置を決定し、
前記第 2 の器具の前記位置に基づいて、前記複数の目標切断面のうちの 1 つと関連付けられる境界を設定し、
前記設定された境界に基づいて前記鋸駆動モータを制御し、
前記複数のアクチュエータを制御して前記鋸刃を前記目標切断面のうちの 1 つに位置合わせする
ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。
(請求項 1 3 0)
前記境界は、3次元オブジェクトである、請求項 1 2 9 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。
(請求項 1 3 1)
前記 3次元オブジェクトは、前記目標切断面のうちの 1 つと交差する、請求項 1 3 0 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。
(請求項 1 3 2)
前記第 2 の器具は、ポインタである、請求項 1 2 9 ～ 1 3 1 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。
(請求項 1 3 3)
患者の骨に対する外科用器具の仮想境界を仮想的に計画する方法であって、
既知の座標系における前記骨に対する外科用インプラントの計画された姿勢を受信するステップと、
前記既知の座標系における前記外科用インプラントの前記計画された姿勢に基づいて、複数の目標切断面を決定するステップと、
前記骨の姿勢を決定するステップと、
切断深度限界のために前記骨に対して所望の場所にポインタを位置決めするステップと、
前記ポインタの位置を決定するステップと、
前記ポインタの前記位置に基づいて前記複数の目標切断面のうちの 1 つに関連付けられた境界を設定するステップと
を含んでなる方法。
(請求項 1 3 4)
前記境界は、3次元オブジェクトである、請求項 1 3 3 に記載の方法。
(請求項 1 3 5)
前記 3次元オブジェクトは、前記目標切断面のうちの 1 つと交差する、請求項 1 3 4 に記載の方法。
(請求項 1 3 6)
前記 3次元オブジェクトは、前記目標切断面のうちの 1 つに垂直である、請求項 1 3 4 又は 1 3 5 に記載の方法。
(請求項 1 3 7)
ポインタを位置決めする前記ステップは、脛骨の表面に接触するように前記ポインタを位置決めすることとして更に定義される、請求項 1 3 3 ～ 1 3 6 のいずれか一項に記載の方法。
(請求項 1 3 8)
ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、
器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前

10

20

30

40

50

記ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記ツールを位置合わせするための、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記ツールの目標姿勢及び前記手持ち部分の姿勢を決定し、

前記ツール支持体と前記手持ち部分との間に加えられる外部作用力の量を推定し、

加えられた前記推定された外部作用力の量に基づいてインジケータを制御するように構成され、

前記推定された作用力の量は、力又はトルクである、手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 3 9)

前記制御システムは、前記推定された外力の量及び力閾値に基づいて前記インジケータを制御するように構成されている、請求項 1 3 8 に記載の手持ち式医療ロボットシステム

。

(請求項 1 4 0)

前記制御システムは、前記推定された外力の量と力閾値と誤差カウンタとに基づいて前記インジケータを制御するように構成されている、請求項 1 3 8 又は 1 3 9 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 4 1)

前記制御システムは、前記外力の量に基づいて、かつ時間閾値に基づいて、前記インジケータを制御するように構成されている、請求項 1 3 8 ～ 1 4 0 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 4 2)

前記推定された外力の量が、第 1 の力成分及び第 2 の力成分を含み、前記第 1 の力成分は、第 1 の方向を有し、前記第 2 の力成分は、第 2 の方向を有し、前記第 1 の方向は、前記第 2 の方向とは異なり、前記力閾値は、第 1 の力閾値及び第 2 の力閾値を含み、前記制御システムは、前記第 1 の力成分及び前記第 1 の力閾値に基づいて前記インジケータを制御するか、前記第 2 の力成分及び前記第 2 の力閾値に基づいて前記インジケータを制御するか、又は前記第 1 の力成分、前記第 2 の力成分、前記第 1 の力閾値、及び前記第 2 の力閾値に基づいて前記インジケータを制御するように構成されている、請求項 1 3 9 ～ 1 4 1 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 4 3)

前記第 1 の方向及び前記第 2 の方向は、前記既知の座標系において定義される、請求項 1 4 2 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 4 4)

前記推定された外力の量が、第 1 の力成分及び第 2 の力成分を含み、前記第 1 の力成分は、前記複数のアクチュエータのうちの第 1 のアクチュエータに対応し、前記第 2 の力成分は、前記複数のアクチュエータのうちの第 2 のアクチュエータに対応し、前記第 1 のアクチュエータは、前記第 2 のアクチュエータと異なり、前記力閾値は、第 1 の力閾値及び第 2 の力閾値を含み、前記制御システムは、前記第 1 の力成分及び前記第 1 の力閾値に基づいて前記インジケータを制御するか、前記第 2 の力成分及び前記第 2 の力閾値に基づいて前記インジケータを制御するか、又は前記第 1 の力成分、前記第 2 の力成分、前記第 1 の力閾値、及び前記第 2 の力閾値に基づいて前記インジケータを制御するように構成されている、請求項 1 3 9 ～ 1 4 3 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 4 5)

前記インジケータは、可視インジケータ、可聴インジケータ、又は触覚インジケータか

10

20

30

40

50

ら選択される、請求項 1 3 7～1 4 4 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 4 6)

前記器具は、前記複数のアクチュエータのそれぞれに供給される電流の量を検出するように構成された 1 つ以上の電流センサを含み、前記制御システムは、前記 1 つ以上の電流センサの出力に基づいて、前記ツール支持体と前記手持ち部分との間に加えられる外部作用力の量を推定するように構成されている、請求項 1 3 7～1 4 4 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 4 7)

前記器具は、加えられる力又はトルクの量を検出するように構成された、1 つ以上の力又はトルクセンサを含み、前記制御システムは、前記 1 つ以上の力又はトルクセンサの出力に基づいて、前記ツール支持体と前記手持ち部分との間に加えられる前記外部作用力の量を推定するように構成されている、請求項 1 3 7～1 4 6 のいずれか一項に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 4 8)

ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータ及び外科用ツールを備え、前記ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記ツールを位置合わせするための、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において、前記ツールの目標姿勢及び前記手持ち部分の姿勢を決定し、

前記ツール支持体と前記手持ち部分との間に加えられる外部作用力の量を推定し、

加えられた前記推定された外部作用力の量に基づいてユーザインタフェースを制御するように構成され、

前記推定された作用力の量は力又はトルクである、手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 4 9)

前記制御システムは、前記ユーザインタフェースを制御して、加えられる前記推定された外部作用力の量に基づいて、ツール対器具のレジストレーションをチェックするようにユーザを促すように構成されている、請求項 1 4 8 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 5 0)

前記制御システムは、加えられる前記推定された外部作用力の量に基づいてツール対器具のレジストレーションワークフローを開始するように前記ユーザインタフェースを制御するように構成されている、請求項 1 4 8 又は 1 4 9 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 5 1)

ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前記ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かして、前記ツールを位置合わせするための、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、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合され

10

20

30

40

50

た制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記ツールの目標姿勢及び前記手持ち部分の姿勢を決定し、

既知の座標系において前記ツールの目標姿勢及び前記手持ち部分の姿勢を決定し、

前記ツール支持体と前記手持ち部分との間に加えられる外部作用力の量を推定し、

加えられた前記推定された作用力の量に基づいて駆動モータを制御する

ように構成され、

前記推定された作用力の量は、力又はトルクである、手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 152)

鋸刃とともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記鋸刃の動きを駆動する鋸
駆動モータを備え、前記手持ち部分に結合された刃支持体と、前記刃支持体と前記手持ち
部分とを動作可能に相互接続し、前記刃支持体を動かして、前記鋸刃を前記手持ち部分に
対して複数の自由度で動かして、前記鋸刃を所望の姿勢に配置するものである、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備える器具と、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ及び前記ローカライザに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記鋸刃の第 1 の目標姿勢を決定し、

第 1 の時間に前記鋸刃、前記手持ち部分、及び前記刃支持体のうちの 1 つの姿勢を決定
し、

前記鋸刃の前記第 1 の目標姿勢と、前記第 1 の時間における前記鋸刃、前記手持ち部分
、及び前記刃支持体のうちの 1 つの前記姿勢とに基づいて処置ステータスを決定し、

前記処置ステータスに基づいて前記鋸刃の第 2 の目標姿勢を選択する能力を制限する
ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 153)

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、

器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記外科用ツールの動きを駆
動するツール駆動モータを備え、前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツ
ール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を動かして、前
記外科用ツールを前記手持ち部分に対して複数の制御された自由度で動かして、前記外科
用ツールを所望の姿勢に配置するものである、複数のアクチュエータを含むアクチュエ
ータアセンブリであって、少なくとも 1 つの制御されない自由度において前記外科用ツール
を再位置決めすることができないものであるアクチュエータアセンブリとを備える器具と

、

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ及び前記ローカライザに結合された制御システムと

を備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記外科用ツールの状態及び前記外科用ツールの目標姿勢を決定
し、

前記外科用ツールの前記状態及び前記外科用ツールの前記目標姿勢に基づいて、前記複
数の制御された自由度で前記外科用ツールを位置決めするように前記複数のアクチュエ
ータを制御し、

前記ツール駆動モータのモータステータスを決定し、

前記モータステータスに関するガイド制約誤差閾値を選択し、

ガイド制約誤差閾値、ガイド制約方向、及びガイド制約誤差に基づいて前記ツール駆動
モータを制御する

10

20

30

40

50

ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 5 4)

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、
器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、前記外科用ツールの動きを駆動するツール駆動モータを備え、前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を動かして、前記外科用ツールを前記手持ち部分に対して動かして、前記外科用ツールを 1 以上の自由度において所望の姿勢に配置するための、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、

10

ローカライザと、

前記複数のアクチュエータ及び前記ローカライザに結合された制御システムとを備えてなり、

前記制御システムは、

既知の座標系において前記外科用ツールの状態及び前記外科用ツールの目標姿勢を決定し、

前記外科用ツールの前記状態及び前記外科用ツールの前記目標姿勢に基づいて前記外科用ツールを位置決めするように前記複数のアクチュエータを制御し、

前記ツール駆動モータのモータステータスを決定し、

少なくとも 1 自由度における前記外科用ツールの前記状態と前記外科用ツールの前記目標姿勢との間の誤差値を決定し、

20

前記モータステータスに基づいて、前記少なくとも 1 自由度に対する誤差閾値を選択し、

前記選択された誤差閾値及び前記誤差値に基づいて前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 5 5)

前記ツールの前記状態は、前記ツールの現在の位置又は前記ツールの以前の指令位置から選択される、請求項 1 5 4 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 5 6)

前記誤差閾値は、誤差範囲であり、前記制御システムは、前記選択された誤差範囲に基づいて、かつ前記誤差値に基づいて、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 1 5 5 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

30

(請求項 1 5 7)

前記モータステータスは、許容状態及び制限状態から選択され、前記許容状態では、前記ツール駆動モータは、動作することを許容され、前記制限状態では、前記ツール駆動モータは、動作することを制限され、前記誤差閾値は、第 1 の誤差範囲として更に特徴付けられ、前記制御システムは、前記第 1 の誤差範囲及び第 2 の誤差範囲から選択するように構成され、前記制御システムは、前記ツール駆動モータが前記制限状態にあるとき、前記第 2 の誤差範囲を選択するように構成され、前記制御システムは、前記ツール駆動モータが許容状態にあるとき、前記第 1 の誤差範囲を選択するように構成されている、請求項 1 5 6 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 1 5 8)

前記少なくとも 1 自由度は、仰角自由度である、請求項 1 5 6 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

40

(請求項 1 5 9)

前記少なくとも 1 自由度は、第 1 の自由度であり、前記誤差値は、第 1 の値であり、前記制御システムは、前記外科用ツールの前記目標姿勢及び前記外科用ツール、前記手持ち部分、又は前記ツール支持体の前記姿勢に基づいて、第 2 の自由度における第 2 の誤差値を決定するように構成され、前記第 2 の自由度は、前記第 1 の自由度と異なり、前記制御システムは、前記第 1 の誤差値及び第 1 の誤差閾値に基づいて、前記ツール駆動モータを制御し、前記第 2 の誤差値及び第 2 の誤差閾値に基づいて、前記ツール駆動モータを制御するように構成されている、請求項 1 5 8 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

50

(請求項 160)

外科用ツールとともに使用する手持ち式医療ロボットシステムであって、
器具であって、ユーザによって保持される手持ち部分と、ツール駆動モータを備え、前記外科用ツールを支持するために前記手持ち部分に結合されたツール支持体と、前記ツール支持体と前記手持ち部分とを動作可能に相互接続し、前記ツール支持体を前記手持ち部分に対して複数の自由度で動かす、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、
ローカライザと、
前記複数のアクチュエータ、前記ローカライザ、及び前記ツール駆動モータに結合された制御システムと
を備えてなり、
前記制御システムは、
既知の座標系において既知の座標系における前記ツールの目標姿勢を決定し、
前記既知の座標系における前記外科用ツールのうちの1つの状態を決定し、
前記外科用ツールの前記状態及び前記外科用ツールの前記目標姿勢に基づいて前記外科用ツールを位置決めするように前記複数のアクチュエータを制御し、
少なくとも1自由度における前記外科用ツールの前記状態と前記外科用ツールの前記目標姿勢との間の誤差値を決定し、
前記少なくとも1自由度についての誤差閾値及び前記誤差値に基づいて前記ツール駆動モータを制御する
ように構成されている、手持ち式医療ロボットシステム。

10

20

(請求項 161)

前記制御システムは、1つ以上のアクチュエータの位置がそのアクチュエータの関節と一致するときに、前記ツール駆動モータのモータステータスを許容状態に維持するように構成されている、請求項 160 に記載の手持ち式医療ロボットシステム。

(請求項 162)

複数のアクチュエータと鋸駆動モータと外科用鋸刃とを含む手持ち式外科用ロボットを制御する方法であって、
既知の座標系において前記鋸刃の目標姿勢を決定するステップと、
前記既知の座標系において前記外科用鋸刃の状態を決定するステップと、
前記外科用鋸刃の前記状態及び前記外科用鋸刃の前記目標姿勢に基づいて、前記外科用鋸刃を所望の平面上に位置決めするように前記複数のアクチュエータを制御するステップと、
前記複数のアクチュエータのうちの1つ以上の位置がそのアクチュエータの関節限界と一致するときに、前記鋸駆動モータが動作することを許容するステップと
を含んでなる方法。

30

(請求項 163)

前記許容するステップは、前記複数のアクチュエータのうちの1つ以上の前記位置を考慮することなく、前記鋸駆動モータが動作することを許容することとして更に定義される、請求項 162 に記載の方法。

40

(請求項 164)

前記アクチュエータの前記位置は、測定位置、指令位置、以前の測定位置、又は以前の指令位置である、請求項 162 に記載の方法。

(請求項 165)

前記許容するステップは、前記鋸刃が遠位境界を侵害しない限り、かつ前記鋸刃が骨内にある限り、前記鋸駆動モータが動作することを許容することとして更に定義される、請求項 162 に記載の方法。

(請求項 166)

前記許容するステップは、前記鋸刃が前記所望の平面に近い限り、前記鋸駆動モータが動作することを許容することとして更に定義される、請求項 165 に記載の方法。

50

(請求項 1 6 7)

前記許容するステップは、前記鋸刃が 1 以上の自由度における誤差閾値内にある限り、前記鋸駆動モータを許容することとして更に定義される、請求項 1 6 5 に記載の方法。

(請求項 1 6 8)

前記許容するステップは、前記鋸刃が少なくとも 3 以上の自由度のそれぞれにおいて誤差閾値内にある限り、前記鋸駆動モータを許容することとして更に定義される、請求項 1 6 5 に記載の方法。

10

20

30

40

50

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2022/054115

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. A61B34/32 A61B17/14 A61B17/16 A61B34/10 A61B34/20
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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2021/011646 A2 (STRYKER CORP [US]) 21 January 2021 (2021-01-21)	1-3, 5, 11-17, 115
Y	paragraphs [0022], [0110] - [0111], [0115], [0120], [0123], [0222] - [0223], [0230], [0233] - [0234], [0236], [0240]; figures 2, 7, 22, 24A-C, 25A-C	4, 6-10
Y	EP 3 407 166 A1 (MAKO SURGICAL CORP [US]) 28 November 2018 (2018-11-28) paragraphs [0061], [0065] - [0066]	6-10
Y	WO 2021/067438 A1 (MAKO SURGICAL CORP [US]) 8 April 2021 (2021-04-08) paragraphs [0110], [0142] - [0145]; figure 11	4
	----- -/--	

☒ 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

12 May 2023

Date of mailing of the international search report

17/07/2023

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

Rosander, Frida

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2022/054115

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X,P	WO 2022/055980 A1 (MAKO SURGICAL CORP [US]) 17 March 2022 (2022-03-17) the whole document -----	1-17, 115

10

20

30

40

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2022/054115

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☒ Claims Nos.: **162-168**
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
see FURTHER INFORMATION sheet PCT/ISA/210
2. ☒ Claims Nos.: **18-50, 73-107, 129-152**
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
see FURTHER INFORMATION sheet PCT/ISA/210
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

10

20

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims.; it is covered by claims Nos.:
1-17, 115

30

40

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/US2022 /054115

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-17, 115

transition between active guided mode and deactivated guided mode

2. claims: 51-62

improve safety in case of occluded trackers

3. claims: 63-72

reliable tool drive motor control

4. claims: 108-114

adaptive guiding

5. claims: 116-128, 153-161

providing an error tolerance

10

20

30

40

50

International Application No. PCT/US2022 /054115

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

Continuation of Box II.1

Claims Nos.: 162-168

Claim 162 relates to a method of "controlling a hand-held robotic surgical robot" which i.a. includes the steps of "controlling the plurality of actuators to position the surgical saw blade on a desired plane" and "permitting the saw drive motor to run when a position of one or more of the plurality of actuators is coincident with a joint limit for that actuator". From the description (e.g. par. [0312]: "This results in the ability to continue running of the drive motor even if the actuators are no longer able to reposition the saw blade in one or more degrees of freedom thus allowing the instrument to continue to resect bone regardless of the position of the hand-held portion."; fig. 2, 18) it is clear that these steps refer to surgical steps because they are at least partly performed on the human body. Thus, claims 162-168 refer to a method for treatment of the human body by surgery. According to Rules 39.1(iv) and 67.1(iv) PCT, neither a search nor an international preliminary examination is required to be carried out on these claims.

Continuation of Box II.2

Claims Nos.: 18-50, 73-107, 129-152

The present application contains 168 claims, of which 22 are independent. There is no clear distinction between the independent claims because of overlapping scope. There are so many claims, and they are drafted in such a way that the claims as a whole are not in compliance with the provisions of clarity and conciseness of Article 6 PCT (see Box VIII), as it is particularly burdensome for a skilled person to establish the subject-matter for which protection is sought. The non-compliance with the substantive provisions is to such an extent, that the search was performed taking into consideration the non-compliance in determining the extent of the search (PCT GL 9.19 and 9.25).

The applicant was therefore invited to clarify upon which part of the application, i.e. which claims, the examiner should focus the search (PCT GL 9.34). The search was based on the subject-matter that, in view of the applicant's reply to the informal request of clarification, could reasonably be expected to be claimed later in the procedure, and the corresponding claims, namely claims 1-17, 51-72, 108-128, and 153-161.

The applicant's attention is drawn to the fact that claims relating to inventions in respect of which no international search report has been established need not be the subject of an international preliminary examination (Rule 66.1(e) PCT). The applicant is advised that the EPO policy when acting as an International Preliminary Examining Authority is normally not to carry out a preliminary examination on matter which has not been searched. This is the case irrespective of whether or not the

10

20

30

40

50

International Application No. PCT/US2022 /054115

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

claims are amended following receipt of the search report or during any Chapter II procedure. If the application proceeds into the regional phase before the EPO, the applicant is reminded that a search may be carried out during examination before the EPO (see EPO Guidelines C-IV, 7.2), should the problems which led to the Article 17(2) PCT declaration be overcome.

10

20

30

40

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2022/054115

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
WO 2021011646 A2		21-01-2021	AU	2020315615 A1	17-02-2022
			CN	114375183 A	19-04-2022
			EP	3998968 A2	25-05-2022
			JP	2022540684 A	16-09-2022
			US	2022273396 A1	01-09-2022
			WO	2021011646 A2	21-01-2021

EP 3407166 A1		28-11-2018	EP	2798444 A1	05-11-2014
			EP	3407166 A1	28-11-2018
			EP	4095654 A1	30-11-2022
			ES	2674732 T3	03-07-2018
			US	2013169423 A1	04-07-2013
			US	2017231704 A1	17-08-2017
			US	2018303568 A1	25-10-2018
			US	2020170739 A1	04-06-2020
			US	2022151720 A1	19-05-2022
			WO	2013101671 A1	04-07-2013

WO 2021067438 A1		08-04-2021	AU	2020359626 A1	14-04-2022
			CN	114449969 A	06-05-2022
			EP	4037597 A1	10-08-2022
			JP	2022549381 A	24-11-2022
			KR	20220070212 A	30-05-2022
			US	2022233251 A1	28-07-2022
			WO	2021067438 A1	08-04-2021

WO 2022055980 A1		17-03-2022	AU	2021342049 A1	19-01-2023
			CN	115916093 A	04-04-2023
			EP	4210619 A1	19-07-2023
			WO	2022055980 A1	17-03-2022

フロントページの続き

(32)優先日 令和4年6月22日(2022.6.22)

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(81)指定国・地域 AP(BW,CV,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,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,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,ME,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(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,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,IR,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,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,ZW

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1. B l u - r a y
2. M A T L A B
3. S W I F T
4. E R L A N G
5. P A S C A L

5 6 5 9

(72)発明者 ポスト, ニコラス, ジョン
アメリカ合衆国, ミシガン州, カラマズー, ブレイバーン・コート 5 8 1 3

(72)発明者 ビーチナウ, ジェイムズ, ケヴィン
アメリカ合衆国, ミシガン州, ポーテージ, レインディア・ストリート 7 8 3 0

(72)発明者 シンハ, ハーシュ
アメリカ合衆国, ミシガン州, グランドラピッズ, トラディション・ドライブ・ノースイースト 2 2 5 0

(72)発明者 ウォーレン, ジョナサン
アメリカ合衆国, ミシガン州, ポーテージ, ウィンデミア・ストリート 6 8 4 5

Fターム(参考) 4C130 AA05 AA13 AA23 AA44 AB01 AD01 BA01