

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6220877号
(P6220877)

(45) 発行日 平成29年10月25日 (2017.10.25)

(24) 登録日 平成29年10月6日 (2017.10.6)

(51) Int. Cl.	F I
A 6 1 B 34/35 (2016.01)	A 6 1 B 34/35
B 2 5 J 3/00 (2006.01)	B 2 5 J 3/00 C

請求項の数 10 (全 35 頁)

(21) 出願番号	特願2015-527627 (P2015-527627)	(73) 特許権者	510253996
(86) (22) 出願日	平成25年8月15日 (2013.8.15)		インテュイティブ サージカル オペレー
(65) 公表番号	特表2015-531624 (P2015-531624A)		ションズ, インコーポレイテッド
(43) 公表日	平成27年11月5日 (2015.11.5)		アメリカ合衆国 94086 カリフォル
(86) 国際出願番号	PCT/US2013/055082		ニア州 サニーヴェイル キーファー・ロ
(87) 国際公開番号	W02014/028703		ード 1020
(87) 国際公開日	平成26年2月20日 (2014.2.20)	(74) 代理人	100107766
審査請求日	平成28年8月15日 (2016.8.15)		弁理士 伊東 忠重
(31) 優先権主張番号	61/683,638	(74) 代理人	100070150
(32) 優先日	平成24年8月15日 (2012.8.15)		弁理士 伊東 忠彦
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100091214
			弁理士 大貫 進介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ゼロ空間を使用した関節運動の相殺のためのシステム及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

遠隔手術システムであって、

近位の基部に対してエンドエフェクタをロボットで動作させるように構成されたマニピュレータアームであり、当該マニピュレータアームは、遠位部と前記基部に結合した近位部との間の複数の関節を有し、前記複数の関節は、前記遠位部の所望の状態のための関節状態の範囲を可能にするために十分な自由度を提供する、マニピュレータアーム、

所望のエンドエフェクタ動作で前記エンドエフェクタを動作させるための操縦命令を受け取るための、入力部、及び

前記入力部及び前記マニピュレータアームに結合されるプロセッサであり、当該プロセ

10

ッサは、前記複数の関節のヤコビアン of ゼロ直交空間内で関節速度を計算することによって、前記操縦命令に応じて前記複数の関節のエンドエフェクタ移動動作を計算し、前記計算された関節速度は、前記複数の関節に含まれる指定された非動作関節の移動動作速度を含み、

前記ヤコビアン of ゼロ空間内で前記複数の関節の相殺動作を計算し、前記計算された相殺動作は、前記相殺動作が前記エンドエフェクタ移動動作と組み合わせられるとき前記指定された非動作関節の前記計算された移動動作速度を相殺するように構成された前記指定された非動作関節の相殺動作速度を含み、

前記操縦命令ごとに前記マニピュレータアームを駆動し且つ前記指定された非動作関節の動作を抑制するように、前記エンドエフェクタ移動動作及び前記相殺動作に応じて前記

20

マニピュレータアームに命令を送信する、
ように構成された、プロセッサ、
を有する、遠隔手術システム。

【請求項 2】

関節の非動作サブセットが、前記非動作関節を含み且つロックされた関節のセットに対応し、

前記プロセッサは更に、

前記ゼロ直交空間内の前記ロックされた関節のセットの各関節の前記エンドエフェクタ移動動作を相殺するために、前記ゼロ空間内で前記関節の非動作サブセットの各関節の動作を計算するように構成されている、

請求項 1 記載の遠隔手術システム。

【請求項 3】

前記プロセッサは更に、

それぞれの前記関節の関節空間内で前記エンドエフェクタ移動動作及び前記相殺動作のそれぞれを計算するように構成されている、

請求項 1 記載の遠隔手術システム。

【請求項 4】

前記プロセッサは更に、

前記マニピュレータアームの所望の補助動作を生じさせるように、第一の関節のセットの補助動作を計算し、前記補助動作は、前記第一の関節のセットの動作が前記ヤコビアン
のゼロ空間内であるように計算されるように構成されており、

前記計算された補助動作は、前記マニピュレータアームの前記所望の補助動作を生じさせる、前記指定された非動作関節の動作を含む、

請求項 1 記載の遠隔手術システム。

【請求項 5】

前記プロセッサは、前記補助動作が自律的アルゴリズムに基づくように構成されている、請求項 4 記載の遠隔手術システム。

【請求項 6】

当該システムは、

所望の再構成動作で前記複数の関節のうちの第一の関節のセットを動作させるための再構成命令を受け入れるための入力装置であり、前記第一の関節のセットは、前記指定された非動作関節を含む、入力装置、

を更に含み、

前記プロセッサは更に、

前記再構成命令に応じて、前記第一の関節のセットの命令された動作が、前記関節の前記計算された速度と共に、前記ゼロ空間内であるように、前記複数の関節の動作を計算し、
且つ

前記再構成動作の間、前記遠位部の所望の状態を維持するように、前記第一の関節のセットの前記命令された動作の間、前記計算された動作に従って前記関節を駆動する、

請求項 1 記載の遠隔手術システム。

【請求項 7】

前記マニピュレータアームの前記近位部は、前記複数の関節のうちの第一の関節によって、前記基部に結合しており、

前記第一の関節は前記マニピュレータアームの前記複数の関節を支持する回転関節であり、前記回転関節の関節動作が前記マニピュレータアームの前記複数の関節のうちの一又は複数の関節を前記回転関節の回転軸の回りで回転させ、前記回転軸は前記回転関節から前記エンドエフェクタの器具シャフトの遠隔中心を通して延び、

前記指定された非動作関節は、前記第一の関節に対応する、

請求項 1 記載の遠隔手術システム。

【請求項 8】

10

20

30

40

50

第一の関節を更に有し、当該第一の関節は前記マニピュレータアームの前記遠位部を器具保持部に結合させる回転関節を有し、前記器具保持部は器具を支持し、前記器具は器具シャフトを有し、前記器具シャフトは前記エンドエフェクタに延び、当該第一の関節の関節動作は、前記回転関節から、遠隔中心を通して延びる前記回転関節の軸の回りで前記器具シャフトを回転させ、前記器具シャフトは前記遠隔中心の回りを回転し、前記器具シャフトは、前記遠隔中心に向けられた遠位側で細くなる錐体に沿って動き、

前記指定された非動作関節は、前記第一の関節に対応する、

請求項 1 記載の遠隔手術システム。

【請求項 9】

遠隔手術システムであって、

手術器具であり、近位端、患者への挿入に適したエンドエフェクタ、及び前記近位端と前記エンドエフェクタとの間の中間部を有する手術器具であって、前記中間部は挿入軸を有する、手術器具、

患者の外側から前記手術器具を回転させるために前記手術器具の前記近位端を支持するように構成されたマニピュレータアームであり、当該マニピュレータアーム及び前記手術器具は複数の被駆動関節を有し、前記複数の被駆動関節は前記エンドエフェクタの所与の状態のための関節状態の範囲を可能にするために十分な自由度を提供し、前記複数の被駆動関節は遠隔中心関節を含み、前記遠隔中心関節は、前記マニピュレータアームの遠位部の動作を、遠隔中心回転点の回りに回転させるために機械的に拘束するように構成され、前記遠隔中心回転点は、前記挿入軸に沿い且つ低侵襲な開口に隣接する、マニピュレータアーム、

所望のエンドエフェクタ動作で前記エンドエフェクタを動作させるために、操縦命令を受けるための入力部であり、当該入力部はユーザーインターフェイスに配置されている、入力部、及び

前記入力部及び前記マニピュレータアームに結合されるプロセッサであり、当該プロセッサは、

所望のエンドエフェクタ動作を生じさせるために、前記操縦命令に応じて前記複数の被駆動関節のエンドエフェクタ移動動作を計算し、前記複数の被駆動関節の前記エンドエフェクタ移動動作を計算することは、ヤコビアン of ゼロ直交空間内で関節速度を計算することを含み、

前記複数の被駆動関節について相殺動作を計算し、前記相殺動作は、前記相殺動作が前記エンドエフェクタ移動動作と組み合わせられるとき関節の非動作サブセットの各関節についての前記エンドエフェクタ移動動作を相殺し、前記相殺動作を計算することは前記ヤコビアン of ゼロ空間内で関節速度を計算することを含み、前記ゼロ直交空間は前記ゼロ空間に対して直角であり、前記関節の非動作サブセットは前記複数の被駆動関節のうちの一又は複数の関節を含む、

ように構成されている、プロセッサ、

を有する、遠隔手術システム。

【請求項 10】

所望の再構成動作で前記複数の被駆動関節のうちの第一の関節のセットを動作させるために、再構成命令を受けるための再構成入力部であり、前記第一の関節のセットは、前記関節の非動作サブセットのうち少なくとも一つを含む、再構成入力部、

を更に有し、

前記プロセッサは更に、

前記再構成命令に応じて前記複数の被駆動関節のうちの一又は複数の再構成動作を計算するように構成され、前記再構成動作に従って前記関節が駆動される場合に、前記エンドエフェクタの所望の状態を維持するために、前記計算された関節速度と組み合わせられた前記第一の関節のセットの前記再構成動作は、前記ゼロ空間内である、

請求項 9 記載の遠隔手術システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して改良された手術用及び／又はロボットの装置、システム及び方法を提供する。

[関連出願の相互参照]

本出願は、“Systems and Methods for Cancellation of Joint Motion Using the Null-Space”と表題が付けられ、2012年8月15日に出願された、米国仮特許出願第61/683,638号(代理人整理番号ISRG03750PROV US)の正規の出願(Non-Provisional)であり、当該米国仮出願からの優先権の利益を主張する。当該米国仮出願の全ての開示は、参照により本明細書に取り込まれる。

10

【0002】

本出願は、概して以下の共通に所有される複数の出願に関連する: “Control of Medical Robotic System Manipulator About Kinematic Singularities”と表題が付けられ、2009年6月30日に出願された米国出願第12/494,695号、“Master Controller Having Redundant Degrees of Freedom and Added Forces to Create Internal Motion”と表題が付けられ、2009年3月17日に出願された米国出願第12/406,004号、“Software Center and Highly Configurable Robotic Systems for Surgery and Other Uses”と表題が付けられ、2005年5月19日に出願された米国出願第11/133,423号(米国特許第8,004,229号)、“Offset Remote Center Manipulator For Robotic Surgery”と表題が付けられ、2004年9月30日に出願された米国出願第10/957,077号(米国特許第7,594,912号)及び“Master Having Redundant Degrees of Freedom”と表題が付けられ、1999年9月17日に出願された米国出願第09/398,507号(米国特許第6,714,839号)、“Manipulator Arm-to-Patient Collision Avoidance Using a Null-Space”と表題が付けられ、2012年6月1日に出願された米国仮出願第61/654,755号及び“System and Methods for Avoiding Collisions Between Manipulator Arms Using a Null-Space”と表題が付けられ、2012年6月1日に出願された米国仮出願第61/654,773号。これらの出願の開示は、それらの全部について、参照により本明細書に取り込まれる。

20

【背景技術】

30

【0003】

低侵襲医療技術は、診断又は外科的処置中に損傷を受ける組織の量を低減し、それにより患者の回復期間、不快感及び有害な副作用を低減することを目的としている。数百万件の“開放性”の手術又は従来の手術が毎年米国内で実行され、これらの手術の多くが潜在的に低侵襲な方法で実行され得る。しかしながら、手術器具及び技術における制約並びにそれらを習得するために必要な追加的な外科訓練に起因して、現在は比較的小さな数の手術のみが低侵襲技術を使用する。

【0004】

手術で使用するための低侵襲な遠隔手術システムは、外科医が離れた場所から患者に手術をすることを可能にするためだけでなく、外科医の器用さを向上させるように開発されている。遠隔手術は、外科医が、手術器具の動作を操作するために手で器具を直接的に保持して動かすのではなく、いくつかの形式の遠隔操作(例えばサーボ機構又は同種のもの)を使用する手術システムを表す一般的な用語である。そのような遠隔手術システムにおいて、外科医は、離れた場所で手術部位の画像を提供される。ビューア又はディスプレイ上に典型的には三次元の手術部位の画像を見ながら、外科医は、マスター制御入力装置を操作し、次いでマスター制御装置がロボット器具の運動を制御することによって患者に外科的処置を施す。ロボット手術器具は、小さく、低侵襲な外科的開口を通して挿入されて、患者の体内の手術部位で組織、しばしば開放性の手術のためのアクセスに関連付けられる外傷を治療することができる。これらのロボットシステムは、しばしば器具のシャフトを低侵襲な開口で回転させること、開口を通してシャフトを軸方向にスライドさせること

40

50

、シャフトを開口内で回転させること及び／又は同種の動作によって、非常に複雑な外科的作業を実行するために十分な器用さで、手術器具の作業端部を動かすことができる。

【 0 0 0 5 】

遠隔手術のために使用されるサーボ機構は、しばしば二つのマスター制御部（外科医の手のそれぞれについて一つ）からの入力を受け入れることができ、二つ以上のロボットアーム又はマニピュレータ（manipulators）を含むことができる。画像取得装置によって表示されるロボット器具の画像への手の動作の対応付け（mapping）は、外科医に、それぞれの手に関連付けられた器具の正確な制御を提供することを助けることができる。多くの手術用ロボットシステムにおいて、内視鏡又はその他の画像取得装置、追加的な手術器具又は同種のものを動かすための一つ以上の追加的なロボットマニピュレータアームが含まれる。

10

【 0 0 0 6 】

様々な構造的な配列が、ロボット手術の間に手術部位で手術器具を支持するために使用されることができる。駆動されるリンク機構又は“スレーブ”は、しばしばロボット手術マニピュレータと呼ばれる。低侵襲ロボット手術の間にロボット手術マニピュレータとして使用されるための例示的なリンク機構配列は、米国特許第6,758,843号；第6,246,200号；及び第5,800,423号において記述されている。これらの米国特許の全ての開示は、参照により本出願に取り込まれる。これらのリンク機構は、シャフトを有する器具を保持するためにしばしば平行四辺形の配列を利用する。そのようなマニピュレータの構造は、硬質のシャフトの長さに沿う空間に配置された球面回転の遠隔中心（remote center）の回りを器具が回転することができるように、器具の動作を拘束することができる。この回転の中心を体内の手術部位への切開点と合わせる（例えば、腹腔鏡手術中に腹壁でトロカール又はカニューレと合わせる）ことによって、手術器具のエンドエフェクタは、腹壁に対して潜在的に危険な力をかけることなく、マニピュレータリンク機構を使用してシャフトの近位側端部を動かすことにより安全に配置されることができる。代替的なマニピュレータ構造は、例えば、米国特許第6,702,805号；第6,676,669号；第5,855,583号；第5,808,665号；第5,445,166号；及び第5,184,601号において記述されている。これらの米国特許の全ての開示は、参照により本出願に取り込まれる。

20

【 0 0 0 7 】

新たなロボット手術システム及び装置は、高度に効果的かつ有利であると判明しているが、更なる改良が望ましい。例えば、マニピュレータアームは、追加的な冗長関節を含んで、特定の状況下で増大した動作又は形状を提供してもよい。しかしながら、低侵襲な手術部位内で手術器具を動かすときに、これらの関節は患者の体外での有意な量の動作を見せる可能性がある。その動作は、しばしば必要な又は予期されるよりも大きな動作であり、特に低侵襲な開口の回りを大きな角度範囲に渡って器具を回転させるときに起こる。患者の体外での故意ではないマニピュレータ／マニピュレータの接触（又は同様のもの）を抑制すると同時に挿入部位への回転運動を抑えるために高度に設定可能な（configurable）動的マニピュレータ関節セットのソフトウェア制御を用いる代替的なマニピュレータ構造が提案されてきた。これらの高度に設定可能な“ソフトウェア中心の”手術用マニピュレータシステムは有意な利点をもたらす得るが、難しい課題もまた提示し得る。特に、機械的に拘束された遠隔中心リンク機構は、いくつかの状況において安全性の利点を有し得る。加えて、これらのマニピュレータにしばしば含まれる多数の関節の広範な形状は、特定の外科的処置のために望ましい形状に手動で設定することが難しいマニピュレータに結果する可能性がある。それでもなお、遠隔手術システムを使用して実行されている手術の範囲が拡大し続けるので、患者の体内の器具の利用可能な形状及び運動の範囲（又は可動域）を拡大することに対する、増大している需要が存在する。残念なことに、これらの変化の両方は、患者の体外でのマニピュレータの運動に関連する難しい課題を増大させるかも知れず、また、ある特定の作業のためのマニピュレータアームの不必要な動作を防止することの重要性を増大させるかも知れない。

30

40

50

【 0 0 0 8 】

これらの理由及びその他の理由により、手術、ロボット手術及びその他のロボットの適用のための改良された装置、システム及び方法を提供することは有利であろう。これらの改良された技術が、ある作業の間にマニピュレータアームの動作の量を限定する能力を提供する場合は特に有益であろう。加えて、これらのシステムの寸法、機械的な複雑さ又は費用を増大させることなく、少なくともいくつかの作業のために器具の運動の範囲を増大させつつ、且つそれらの器用さを維持又は改良しながら、そのような改良を提供することが望ましいであろう。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

10

【 0 0 0 9 】

【 特許文献 1 】 米国特許第 6 , 7 5 8 , 8 4 3 号明細書

【 特許文献 2 】 米国特許第 6 , 2 4 6 , 2 0 0 号明細書

【 特許文献 3 】 米国特許第 5 , 8 0 0 , 4 2 3 号明細書

【 特許文献 4 】 米国特許第 6 , 7 0 2 , 8 0 5 号明細書

【 特許文献 5 】 米国特許第 6 , 6 7 6 , 6 6 9 号明細書

【 特許文献 6 】 米国特許第 5 , 8 5 5 , 5 8 3 号明細書

【 特許文献 7 】 米国特許第 5 , 8 0 8 , 6 6 5 号明細書

【 特許文献 8 】 米国特許第 5 , 4 4 5 , 1 6 6 号明細書

【 特許文献 9 】 米国特許第 5 , 1 8 4 , 6 0 1 号明細書

20

【 発明の概要 】

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

本発明は、概して改良されたロボット装置及び / 又は手術装置、システム及び方法を提供する。様々な実施形態において、本発明は、高度に設定可能な手術用ロボットマニピュレータを用いることができる。これらのマニピュレータは、例えば、関連する手術用エンドエフェクタが手術用作業空間内に有するよりも大きな動作の自由度を有してもよい。本発明によるロボット手術システムは、典型的に、ロボット手術器具を支持するマニピュレータアーム及び器具のエンドエフェクタを操縦するための連動した (coordinated) 関節の動作を計算するためのプロセッサを含む。エンドエフェクタを支持するロボットマニピュレータの関節は、マニピュレータが所与のエンドエフェクタポジション及び / 又は所与の回転の中心点位置についての異なる形状の範囲の全体に渡って動作することを可能にする。マニピュレータは、追加的な冗長関節を含んで、例えば使用者の命令又は補助的な動作に応じた再構成の動作、特に衝突防止の動作のような、様々な種類の動作を可能にしてもよい。本発明は、例えば所望のエンドエフェクタ動作のような第一の作業を生じさせる (effect) ために、マニピュレータアームの複数の関節の非動作サブセット (non-moving subset) (複数の関節の “ ロックされた ” セットとも呼ばれる) の一つ以上の関節の動作の相殺を可能にする。一方、本発明は同時に、例えば再構成の動作又は補助的な動作のような他の作業のために、非動作サブセットの一つ以上の関節の動作を可能にする。複数の関節の非動作サブセット (又はロックされたセット) は、動作を拘束するために機械的に “ ロックされる ” 必要はなく、むしろ本明細書において記述される方法を利用して “ 動かない ” 又は “ ロックされた ” 関節の態様をもたらすことによって効果上 (若しくは実際上) ロックされてもよいことが留意されるべきである。用語 “ ロックされた ” 及び “ 非動作 ” (例えば、 “ 非動作サブセット ” 又は複数の関節の “ ロックされたセット ”) は、本明細書の全体を通じて相互に交換可能に使用される。

30

40

【 0 0 1 1 】

概して、遠位側のエンドエフェクタ動作を生じさせるための、マニピュレータアームの命令された動作は、マニピュレータアームの全ての関節の動作を用いる。再構成動作は、エンドエフェクタの操作 (manipulation) において使用されるものと同じの関節を利用してもよいが、マニピュレータアームの一つ以上の関節に関しては、例えば命令されたエン

50

ドエフェクタの操縦動作のような、ある種類の動作を生じさせているときに、ロックされたままであることが望ましいかもしれない。加えて、一つ以上の“ロックされた”又は“非動作”関節の動作を可能にして、例えば再構成作業又は様々な補助作業のような他の作業を、例えばマニピュレータアームの衝突防止動作のような、自律的アルゴリズムに基づいてもたやすことが、有利であり得る。いくつかの実施形態において、システムは、ある特定の動作を生じさせるために動作が望まれない、関節の“ロックされたセット”又は“非動作サブセット”の一つ以上の関節の動作を相殺するために、複数の関節について相殺動作を計算する。ある複数の態様において、システムは、少なくともある命令された動作について、所望の関節の運動相殺を可能にする。また、システムは、ある他の動作において、関節相殺動作の上に他の動作を重ねることによって、ロックされた関節の動作を可能にしてもよい。

10

【0012】

ある複数の実施形態において、システム操作者は、使用者入力装置で再構成命令を入力し、要求通りにマニピュレータが再構成されるまで、ゼロ空間内でマニピュレータの一つ以上の関節を駆動する。いくつかの実施形態において、システムは、患者の表面又は隣接するマニピュレータアームのような障害物を避けるために、衝突防止動作を生じさせる。システムは、例えば命令されたエンドエフェクタ操縦動作のようなある特定の種類の動作に関して、マニピュレータアームの関節のロックされたセットのうちの一つ以上の関節の動作を相殺するために、複数の関節について、上述の運動相殺機構を利用してもよい。一方で、システムは、本明細書において記述される様々な他の種類の動作のうちの一つ以上

20

【0013】

本発明のある複数の態様において、操作入力部を備えた冗長自由度 (redundant degrees of freedom (RDOF)) 手術用ロボットシステムが提供される。RDOF手術用ロボットシステムは、マニピュレータアセンブリ、一つ以上の使用者入力装置及び制御部を備えたプロセッサを有する。アセンブリのマニピュレータアームは、複数の関節を有し、所与のエンドエフェクタ状態について関節状態の範囲を可能にするために十分な自由度を提供する。使用者によって入力され、受信された再構成命令に応じて、システムは、ゼロ空間内で複数の関節の速度を計算する。関節は、再構成命令及びエンドエフェクタの所望の状態を維持するように計算された動作に従って駆動される。所望の動作でエンドエフェクタを動作させるための操作命令を受けることに応じて、システムは、ゼロ空間に対して直角なヤコビアン (関数行列式 (Jacobian)) のゼロ直交空間内で関節速度を計算することによって関節のエンドエフェクタ移動動作を計算し、計算された動作に従って関節を駆動して所望のエンドエフェクタ動作を生じさせる。上述の様々な他の種類の動作のために増大した運動の範囲を提供するために、システムは、器具をマニピュレータアームの近位部に結合させる、回転する最も近位の関節及び/又は遠位の回転関節を有してもよい。使用者が、エンドエフェクタ操作を生じさせるためにこれらの関節の一つ又は両方が駆動若しくは動作されないこと又は効果上“ロックアウト”されることを望む場合は、システムは、命令されたエンドエフェクタ操作をもたやすためにこれらの関節について計算された動作を検出し、計算された動作に対向する (又は向かい合う) 相殺動作を計算してもよい。これにより、組み合わされたエンドエフェクタ移動動作及び相殺動作に従って駆動されたときに、マニピュレータアームは、操作動作を生じさせるためにロックアウトされた (複数の) 関節を駆動することなく、所望のエンドエフェクタ操作を提供することができる。

30

40

【0014】

本発明の一つの他の態様において、マニピュレータは、器具シャフトの中間部が遠隔中心の回りを回動するように動作するように構成される。マニピュレータと器具との間に、複数の被駆動関節が存在し、器具シャフトの中間部がアクセス部位を通過するときに、あるエンドエフェクタポジションについての関節状態の範囲を可能にするために十分な自由度を与える。制御部を有するプロセッサは、入力装置をマニピュレータに結合させる。再構成命令に応じて、プロセッサは、エンドエフェクタの所望の動作の間器具の中間部がア

50

クセス部位内にあり、それを中心としてシャフトが回転する所望の遠隔中心位置が維持されるように、所望の再構成をもたらすために一つ以上の関節の動作を決定する。様々な実施形態において、所望のエンドエフェクタの動作を生じさせるための操作命令を受け取ることに応じて、システムは、関節のエンドエフェクタ移動動作を計算する。その計算は、ゼロ空間に対して直角なヤコビアン of ゼロ直交空間内で関節速度を計算すること（ステップ）を含む。そして、システムは、器具シャフトが遠隔中心の回りで回転する、所望のエンドエフェクタの動作を生じさせるように計算された動作に従って関節を駆動する。

【0015】

ある複数の態様において、マニピュレータの第一の関節のセットからの一つの関節は、マニピュレータアームを基部に結合させる回転関節である。エンドエフェクタの所望の状態は、エンドエフェクタの所望のポジション、速度又は加速度を含んでもよい。概して、操作命令及び再構成命令は、別個の入力装置上の別個の使用者から受け取られ得る、別個の入力である。しかしながら、いくつかの実施形態において、これらの別個の入力は、同一の使用者から受け取られる。ある複数の実施形態において、エンドエフェクタ操作命令は、例えば外科医用コンソールマスター入力装置上で命令を入力している外科医のような第一の使用者による入力装置から受け取られ、一方で再構成命令は、例えば患者側カートの入力装置上で再構成命令を入力している医者の助手のような、別個の入力装置上の第二の使用者による入力装置から受け取られる。いくつかの実施形態において、エンドエフェクタ操作命令及び再構成命令は、両方とも同一の使用者により、手術用コンソールにおいて入力装置から受け取られる。他の実施形態において、エンドエフェクタ操作命令及び再構成命令は、両方とも同一の使用者により、患者側カートにおいて入力装置から受け取られる。

【0016】

ある複数の態様において、マニピュレータアームの近位部は、関節が駆動されている間に基部に対する近位部の動作が抑制されるように、基部に取り付けられている。いくつかの実施形態において、近位部は、関節が駆動されている間にマニピュレータアームの近位部が基部に対して可動であるように、関節によって基部に結合している。マニピュレータアームの近位部を基部に結合させる関節は、回転関節の関節動作がマニピュレータアームの一つ以上の関節を回転関節の回転軸の回りで回転させるように、マニピュレータアームを支持する回転関節であってもよい。様々な実施形態において、回転関節の回転軸は、関節から、遠隔中心を通して延びる。エンドエフェクタの器具シャフトは、その遠隔中心の回りで回転する。ある複数の態様において、回転の動作は、マニピュレータアームの一つ以上の関節を、典型的には遠隔中心又はその近傍で、遠位のエンドエフェクタに向けられ遠位側で細くなる錐体（コーン）の回りで回転させる。この態様においてマニピュレータアームが回りを回転する錐体は、ツール先端の運動の範囲内の錐体形状の空洞に対応し、以下に更なる詳細について記述されるように、ツールの動作は不可能又は減じられ得る。

【0017】

一つの他の態様において、マニピュレータの近位部を基部に結合されている関節は、基部に対して、経路、例えば弧状又は実質的に円形状の経路に沿って可動である。そのため、経路に沿った関節の動作は、マニピュレータアームの一つ以上の関節を軸の回りで回転させる。その軸は、器具に近いマニピュレータアームの遠位部を通して、例えば器具シャフトが回りを回転する遠隔中心を通して、延びる。いくつかの実施形態において、マニピュレータは、マニピュレータアームの近位部を基部に結合させる回転関節を含み、その回転関節は基部に対して経路に沿って可動であり、その経路は、直線状、弧状又は実質的に円形状であってもよい。

【0018】

本発明の更に他の態様において、近位の回転関節及び遠位の平行四辺形リンク機構を備えた手術用ロボットマニピュレータが提供される。回転関節の回転軸は、妥当な場合は好ましくは遠隔中心又はその近傍で、エンドエフェクタの器具シャフトの軸と実質的に交差する。システムは、入力部をマニピュレータアームに結合させる制御部を有し、使用者入

10

20

30

40

50

力命令に応じて複数の関節の動作を計算するように構成されたプロセッサを更に有する。システムは、エンドエフェクタを所望の状態に維持しながら、複数の関節のうちの第一の関節のセットを所望の再構成動作で動作させるための再構成命令を受け取るための、入力装置を更に有してもよい。

【0019】

本発明の本質及び利点の更なる理解は、本明細書の残りの部分及び図面を参照することによって明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1A】図1Aは、本発明の複数の実施形態によるロボット手術システムの俯瞰図である。ロボット手術システムは、複数の手術器具をロボット制御で動かすための複数のロボットマニピュレータを備えた手術ステーションを有する。複数の手術器具は、患者体内の内部手術部位で手術用エンドエフェクタを有する。

10

【図1B】図1Bは、図1Aのロボット手術システムを模式的に示す。

【図2】図2は、図1Aの手術システム内の、外科的処置命令を入力するためのマスター外科医コンソール又はワークステーションを示す斜視図である。コンソールは、入力された命令に応じてマニピュレータ命令信号を生成するためのプロセッサを含む。

【図3】図3は、図1Aの電子カートの斜視図である。

【図4】図4は、4つのマニピュレータアームを有する患者側カートの斜視図である。

【図5A】図5A - 5Dは、図1Aの電子カートの斜視図を示す。

20

【図5B】図5A - 5Dは、図1Aの電子カートの斜視図を示す。

【図5C】図5A - 5Dは、図1Aの電子カートの斜視図を示す。

【図5D】図5A - 5Dは、図1Aの電子カートの斜視図を示す。

【図6A】図6A - 6Bは、それぞれ前方ピッチ構成及び後方ピッチ構成の、一つの例示的なマニピュレータアームを示す。

【図6B】図6A - 6Bは、それぞれ前方ピッチ構成及び後方ピッチ構成の、一つの例示的なマニピュレータアームを示す。

【図6C】図6Cは、前方ピッチ構成及び後方ピッチ構成のそれぞれにおける不活動円錐域 (cone of silence) 又は円錐形のツールアクセス制限区域を含む、一つの例示的なマニピュレータアームの手術器具ツール先端の運動の範囲の図式的な表現を示す。

30

【図7A】図7Aは、近位の回転関節を有する例示的なマニピュレータアームを示す。近位の回転関節は、マニピュレータアームを近位の回転関節の軸の回りで回転させる。

【図7B】図7Bは、一つの例示的なマニピュレータアーム並びに関連する運動の範囲及び不活動円錐域を示す。例示的なマニピュレータアームは、マニピュレータアームを近位の回転関節の軸の回りで回転させる近位の回転関節を有する。その動作は、描かれる不活動円錐域を減じるために使用されることができる。

【図8】図8は、遠位の器具保持部に近い回転関節を有する一つの例示的なマニピュレータアームを示す。

【図9】図9は、器具保持部を関節軸の回りで周回させるか又はひねる、遠位の器具保持部に近い回転関節を有する一つの例示的なマニピュレータアームを示す。

40

【図10A】図10A - 10Cは、関節がその関節運動の範囲の全体に渡って動かされる場合の、遠位の器具保持部に近い回転関節を有する一つの例示的なマニピュレータアームの、連続的な複数の図を示す。

【図10B】図10A - 10Cは、関節がその関節運動の範囲の全体に渡って動かされる場合の、遠位の器具保持部に近い回転関節を有する一つの例示的なマニピュレータアームの、連続的な複数の図を示す。

【図10V】図10A - 10Cは、関節がその関節運動の範囲の全体に渡って動かされる場合の、遠位の器具保持部に近い回転関節を有する一つの例示的なマニピュレータアームの、連続的な複数の図を示す。

【図11A】図11A - 11Bは、それぞれ、関節の角変位が0°場合と、関節の角変位

50

が90°の場合を対比して、遠位の回転関節を有する一つの例示的なマニピュレータアームの回転された外形を示す。

【図11B】図11A - 11Bは、それぞれ、関節の角変位が0°場合と、関節の角変位が90°の場合を対比して、遠位の回転関節を有する一つの例示的なマニピュレータアームの回転された外形を示す。

【図12A】図12A - 12Dは、近位の関節を有する複数の例示的なマニピュレータアームを示す。複数の例示的なマニピュレータアームは、関節の経路の回りでマニピュレータアームを支持する近位の関節を平行移動させる。

【図12B】図12A - 12Dは、近位の関節を有する複数の例示的なマニピュレータアームを示す。複数の例示的なマニピュレータアームは、関節の経路の回りでマニピュレータアームを支持する近位の関節を平行移動させる。

10

【図12C】図12A - 12Dは、近位の関節を有する複数の例示的なマニピュレータアームを示す。複数の例示的なマニピュレータアームは、関節の経路の回りでマニピュレータアームを支持する近位の関節を平行移動させる。

【図12D】図12A - 12Dは、近位の関節を有する複数の例示的なマニピュレータアームを示す。複数の例示的なマニピュレータアームは、関節の経路の回りでマニピュレータアームを支持する近位の関節を平行移動させる。

【図13A】図13A - 13Cは、近位の関節を有する複数の例示的なマニピュレータアームを示す。複数の例示的なマニピュレータアームは、関節の経路の回りでマニピュレータアームを支持する近位の関節を平行移動させる。

20

【図13B】図13A - 13Cは、近位の関節を有する複数の例示的なマニピュレータアームを示す。複数の例示的なマニピュレータアームは、関節の経路の回りでマニピュレータアームを支持する近位の関節を平行移動させる。

【図13C】図13A - 13Cは、近位の関節を有する複数の例示的なマニピュレータアームを示す。複数の例示的なマニピュレータアームは、関節の経路の回りでマニピュレータアームを支持する近位の関節を平行移動させる。

【図14A】図14A - 14Bは、一つの例示的なマニピュレータ又はアセンブリの、ヤコビアンゼロ空間とゼロ直交空間との間の関係を図式的に表す。

【図14B】図14A - 14Bは、一つの例示的なマニピュレータ又はアセンブリの、ヤコビアンゼロ空間とゼロ直交空間との間の関係を図式的に表す。

30

【図14C】図14Cは、他の関節に対して相対的に“ロックされた”関節の関節空間を図式的に描写する。

【図15A】図15A - 15Bは、エンドエフェクタ移動動作と同時の再構成動作による、一つの例示的なマニピュレータの動作を示す。その動作において、最も近位の関節は、エンドエフェクタ移動動作からロックアウトされている。

【図15B】図15A - 15Bは、エンドエフェクタ移動動作と同時の再構成動作による、一つの例示的なマニピュレータの動作を示す。その動作において、最も近位の関節は、エンドエフェクタ移動動作からロックアウトされている。

【図16A】図16A - 16Bは、多くの実施形態による方法を表す単純化されたブロック図である。

40

【図16B】図16A - 16Bは、多くの実施形態による方法を表す単純化されたブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

本発明は概して、改良された手術用装置及びロボット装置、システム及び方法を提供する。本発明は、外科的処置中に、複数の手術ツール又は器具が関連する複数のロボットマニピュレータに取り付けられ、これによって動かされることができ、手術用ロボットシステムと共に使用するために特に有利である。ロボットシステムは、しばしば、マスター-スレーブ制御部として構成されるプロセッサを有する、遠隔ロボット、遠隔手術及び/又はテレプレゼンスのシステムを含むことがある。比較的大きな数の自由度を有する有関

50

節リンク機構を使ってマニピュレータアセンブリを動作させるように適切に構成されたプロセッサを用いるロボットシステムを提供することにより、リンク機構の運動は、低侵襲なアクセス部位を通しての作業に適合されることができる。大きな数の自由度は、システム操作者又は助手が、所望のエンドエフェクタ状態を維持しながら、任意的に手術に備えて及び/又は外科的処置中に他の使用者がエンドエフェクタを操縦している間に、マニピュレータアセンブリのリンク機構を再構成することを可能にする。

【0022】

本明細書において記述されるロボットマニピュレータアセンブリは、しばしば、ロボットマニピュレータ及びそれに取り付けられたツール（ツールはしばしば手術用のものにおいて手術器具を含む）を含むことがある。ただし、用語“ロボットアセンブリ”はまた、それに取り付けられたツールがないマニピュレータを包含することがある。用語“ツール”は、一般用又は工業用のロボットツール及び特化したロボット手術器具の両方を包含する。これらと共に、後者の構造はしばしば、組織の操作、組織の治療、組織の画像化又は同種の作業に適したエンドエフェクタを含む。ツール/マニピュレータインターフェイスは、しばしば、急速着脱式のツール保持部又は結合器であることがあり、ツールの迅速な取り外し及び代替のツールとの交換を可能にする。マニピュレータアセンブリは、しばしば、ロボット処置の少なくとも一部の間に空間に固定される基部を有することがある。また、マニピュレータアセンブリは、基部とツールのエンドエフェクタとの間に、複数の自由度を包含してもよい。エンドエフェクタの作動（例えば把持装置の顎部を開くこと又は閉じること、電気外科的パドルに電圧を加えること又は同種のこと）は、しばしば、これらのマニピュレータアセンブリ自由度とは別個に及びそれに加えて、行われることがある。

【0023】

様々な実施形態において、エンドエフェクタは、2から6の間の自由度で作業空間内を動くことができる。本明細書において使用される場合、用語“ポジション”は、位置と方向の両方を包含する。それ故に、（例えば）エンドエフェクタのポジションの変化は、第一の位置から第二の位置へのエンドエフェクタの平行移動（若しくは並進）、第一の方向から第二の方向へのエンドエフェクタの回転又は両方の組合せを伴ってもよい。低侵襲ロボット手術のために使用されるときに、マニピュレータアセンブリの動作は、ツール又は器具のシャフト又は中間部分が、低侵襲手術用アクセス部位又は他の開口を通る安全な運動に拘束されるように、システムのプロセッサによって制御されてもよい。そのような動作は、例えば、開口部位を通じた外科用作業空間内へのシャフトの軸方向の挿入、シャフトの軸の回りでのシャフトの回転及び、アクセス部位に隣接する回動点の回りでのシャフトの回動運動を含んでもよい。

【0024】

本明細書において記述されるマニピュレータアセンブリの例の多くは、手術部位内でエンドエフェクタを配置し（position）、動作させるために必要とされるよりも大きな自由度を有する。例えば、6自由度を使って内部の手術部位で低侵襲な開口を通して配置されることができる手術用エンドエフェクタは、いくつかの実施形態において、9自由度（6のエンドエフェクタの自由度 - 位置についての3自由度及び方向についての3自由度 - に加えて、アクセス部位の拘束に従うための3自由度）を有してもよいが、10以上の自由度を有してもよい。高度に設定可能なマニピュレータアセンブリは、所望のエンドエフェクタポジションのために必要とされるよりも大きな自由度を有し、作業空間内のエンドエフェクタポジションに適した関節状態の範囲を可能にするために十分な自由度を有するか又は提供するものとして記述されることができる。例えば、所与のエンドエフェクタポジションについて、マニピュレータアセンブリは、代替的なマニピュレータリンク機構ポジションの範囲のどこであっても、占める（及び間で駆動される）ことができる。同様に、所与のエンドエフェクタ速度ベクトルについて、マニピュレータアセンブリは、マニピュレータアセンブリの様々な関節について、ヤコビアンのゼロ空間内で、様々な異なる関節動作速度の範囲を有することができる。

【 0 0 2 5 】

本発明は、広い範囲の運動が要求され、他のロボットリンク機構、手術人員及び設備並びに同種のものの存在のために限定された専用体積が利用可能な、手術用の（及びその他の）用途のために特に良く適したロボットリンク機構構造を提供する。運動の大きな範囲及び各ロボットリンク機構のために必要とされる低減された体積はまた、ロボット支持構造の位置と手術作業空間又はその他の作業空間との間に、より大きな柔軟性を提供し、それによって設定を容易にし且つ迅速化することができる。

【 0 0 2 6 】

関節又は同種のものの“状態”の用語は、しばしば本明細書において、関節に関連付けられた制御変数を指す。例えば、角度をなす関節の状態は、その運動の範囲（可動域）内のその関節によって規定される角度及び／又は関節の角速度を指してもよい。同様に、軸方向関節又は直動関節の状態は、関節の軸方向の位置及び／又はその軸方向の速度を指してもよい。本明細書において記述される制御装置の多くは速度制御部を有するが、それらはまた、しばしばいくつかのポジション制御の態様を有する。複数の代替的な実施形態は、位置制御部、加速度制御部又は同種のものに第一に又は完全に頼り得る。そのような装置において使用され得る制御システムの多くの態様が、米国特許第 6, 6 9 9, 1 7 7 号においてにより完全に記述されている。当該米国特許の全ての開示は、参照により本明細書に取り込まれる。したがって、記述される運動が関連付けられた計算に基づく限り、本明細書において記述される関節の動作及びエンドエフェクタの動作の計算は、位置制御アルゴリズム、速度制御アルゴリズム、これらの両方の組み合わせ及び／又は同種のものを使用して実行されてもよい。

【 0 0 2 7 】

様々な実施形態において、例示的なマニピュレータアームのツールは、低侵襲な開口に隣接する回動点の回りで回動する。システムは、例えば米国特許第 6, 7 8 6, 8 9 6 号において記述される遠隔中心運動学のような、ハードウェアの遠隔中心を利用することができる。当該米国特許の開示は、その全体において本明細書に取り込まれる。そのようなシステムはまた、二重平行四辺形リンク機構を利用してもよい。二重平行四辺形リンク機構は、マニピュレータによって支持される器具のシャフトが遠隔中心点の回りで回動するように、リンク機構の動作を拘束する。代替的な機械的に拘束された遠隔中心リンク機構システムが、知られており且つ／或いは将来開発され得る。驚くべきことに、本発明に関連する取り組み（work）は、遠隔中心リンク機構システムは高度に設定可能な運動学的アーキテクチャから恩恵を受けることを示す。特に、手術ロボットシステムが低侵襲な手術用アクセス部位で又はその近傍で交差する二つの軸の回りで回動運動を可能にするリンク機構を有するときに、球面回動運動は、患者体内での所望の運動の範囲の全範囲を包含することができるが、なおも回避可能な不備（例えば、不十分に調整されること、患者の体外でのアームとアームの接触又はアームと患者の接触の影響を受けやすいこと及び／又は同種のこと）に悩まされるかも知れない。第一に、アクセス部位又はその近傍での回動運動に機械的にも拘束された一つ以上の追加的な自由度を加えることは、運動の範囲における僅かな又はいくつかの改良を提示するように見えるであろう。それでもなお、そのような関節は、システム全体が、衝突抑制態勢に構成されること又は衝突抑制態勢に向かって駆動されることを可能にすることによって、他の外科的処置のための運動の範囲を更に拡張すること及び同種のことによって、有意な利点を提供することができる。他の実施形態において、システムは、例えば米国特許第 8, 0 0 4, 2 2 9 号において記述されるような、遠隔中心を得るためのソフトウェアを利用することができる。当該米国特許の全ての内容は、参照により本明細書に取り込まれる。ソフトウェア遠隔中心を有するシステムにおいて、プロセッサは、機械的な拘束によって規定される回動点とはとは対照的に、器具シャフトの中間部を所望の回動点の回りで回動させるように、関節動作を計算する。ソフトウェア回動点を計算する能力を有することによって、システムの適合性又は剛性によって特徴付けられる複数の異なるモードが、選択的に実行されることができる。より具体的には、回動点／中心の範囲にわたる複数の異なるシステ

10

20

30

40

50

ムモード（例えば、可動な回動点、受動的な回動点、固定／剛性回動点、ソフト回動点）が、必要に応じて実行されることができる。

【 0 0 2 8 】

複数の高度に設定可能なマニピュレータを有するロボット手術システムの多くの利点にもかかわらず、マニピュレータは基部と器具との間に比較的大きな数の関節及びリンクを含むために、複数のリンクの手動での配置は、難易度が高く且つ複雑なものであり得る。重力の効果を避けるようにマニピュレータ構造の均衡がとれている場合でさえ、関節のそれぞれを適切な配列に並べること又はマニピュレータを要求通りに再構成することを試みることは、困難で時間を消費するものであるかもしれない。関節に関してマニピュレータのリンクの均衡がとれていない場合には、それらの課題は更に大きく、そのような高度に設定可能な構造を手術前又は手術中に適切な構成に配置することは、マニピュレータアームの長さ及び多くの手術システムにおける受動的且つ柔軟（limp）な設計に起因して、大変な困難であり得る。

【 0 0 2 9 】

これらの問題点は、使用者、例えば医者の助手が、所望のエンドエフェクタ状態を維持したまま、任意的に外科的処置中のエンドエフェクタの動作の間でさえ、迅速且つ容易にマニピュレータアームを再構成することを可能にすることによって対処され得る。マニピュレータアームの動作の範囲及び構成を増大させて、この能力を強化するために、一つ以上の追加的な関節がマニピュレータアームに含まれてもよい。追加的な関節を提供することは、ある複数の作業に関して増大した運動の範囲を与えることができる。しかし一方で、マニピュレータアーム内の大きな数の冗長な関節は、その動作が予測不可能であるように見えるか又は全体の動作の量が様々な他の臨床的な懸念事項を引き起こすように、複数の他の作業に関してアームの様々な動作を過剰に複雑にする原因となり得る。第一の作業のために動作が望まれない一つ以上の関節（本明細書において、“ロックされた”関節又は“（複数の）関節のロックされたセット”と呼ばれる）の動作を相殺し、一方で、第一の作業と同時に実行され得る様々な他の作業のために、関節のロックされたセットの動作を可能にすることは、更に有用であるかも知れない。ロックアウトされる関節の動作を実際に物理的に拘束せずに、ある複数の関節をロックアウトすることは有利である、なぜなら、ロックされた関節の動作が複数の他の作業又は動作を生じさせるために望まれるかも知れないからである。様々な実施形態において、本発明は更に、関節の非動作サブセット（又はロックされたセット）の一つ以上の関節の所望の運動相殺を可能にすると同時に、更に、例えば自律的アルゴリズムに基づく動作又は命令された再構成動作のような様々な他の動作のために、関節のロックされたセットの動作を可能にする。

【 0 0 3 0 】

ある複数の態様において、手術空間内での命令されたエンドエフェクタ動作は、連動した関節のエンドエフェクタ移動動作に従って、マニピュレータの一つ以上の関節を駆動することによってもたらされる。その連動した関節のエンドエフェクタ移動動作は、プロセッサによって、運動学的なヤコビアン of ゼロ空間直交内で計算される。様々な他の作業、例えば、再構成動作、又は衝突防止動作のような補助作業は、連動した関節の動作に従ってマニピュレータの一つ以上の関節を駆動することによって、エンドエフェクタの所望の状態を維持したまま、もたらされ得る。その連動した関節の動作は、しばしばエンドエフェクタ移動動作と同時に、ヤコビアンのゼロ空間内で計算される。

【 0 0 3 1 】

いくつかの実施形態において、様々な他の作業に関する計算された動作、例えば自律的アルゴリズムに基づく回避動作は相殺動作に重なってもよく、“ロックされた関節”は様々な他の作業を生じさせるために更に動かされることができる。そのような回避動作の例は、“Manipulator Arm-to-Patient Collision Avoidance Using a Null-Space”と表題が付けられ、と表題が付けられ、2012年6月1日に出願された、米国仮出願第61/654,755号及び“System and Methods for Avoiding Collisions Bet

10

20

30

40

50

ween Manipulator Arms Using a Null-Space”と表題が付けられ、2012年6月1日に出版された米国仮出願第61/654,773号において記述される。これらの出願の開示は、それらの全部について、参照により本明細書に取り込まれる。しかしながら、“ロックアウトされた”関節の相殺動作に重なる計算された動作は、自律的な動作に限定されず、様々な他の動作、例えば命令された再構成動作又は様々な補助動作を含み得る。

【0032】

本発明の複数の実施形態は、マニピュレータ構造の自由度の利点を活用するように構成された使用者入力部を含んでもよい。マニピュレータを手動で再構成するのではなく、入力部が、使用者による再構成命令の入力に応じてマニピュレータ構造を再構成するために、運動学的リンク機構の被駆動関節の使用を助ける。様々な実施形態において、再構成命令を受けるための使用者入力部は、マニピュレータアームの中に組み込まれているか且つ/或いはマニピュレータアームの近くに配置されている。複数の他の実施形態において、入力部は、一つ以上の関節の再構成を助けるために、集中化された入力装置、例えば患者側カート上の一群のボタン又は操作棒を有する。再構成命令を受けるための入力装置は、エンドエフェクタの動作を生じさせるための操作命令を受けるための入力部から離れていてもよい。手術システムの制御部は、可読記憶装置を備えたプロセッサを含んでもよい。その可読記憶装置は、装置上に記録された関節制御プログラミング命令又はコードを有し、制御部が再構成命令の入力に応じて所望の再構成を生じさせることを可能にするように、プロセッサが装置上に記録されている関節を駆動するために適切な関節命令を引き出すことを可能にする。しかしながら、本発明は、再構成機構の有無に関わらず、マニピュレータアームにおいて使用されてもよいことが明確に理解される。

【0033】

以下の説明において、本発明の様々な実施形態が説明される。説明の目的のため、複数の実施形態の完全な理解を提供するために特有の構成及び詳細が説明される。しかしながら、本発明は本明細書に記述される特有の詳細通りでなくとも実践し得ることも当業者には明らかであろう。さらに、周知な特徴は、本明細書に記述される実施形態を不明瞭にしない目的で省略又は単純化されている。

【0034】

ここから、同様な参照数字はいくつかの図面を通じて同様な部品を代表する、複数の図面を参照すると、図1Aは、多くの実施形態による、低侵襲ロボット手術(MIRS)システム10の俯瞰図である。低侵襲ロボット手術システム10は、手術台14上に横になった患者12への低侵襲診断又は外科的処置において使用される。システムは、処置の間に外科医18によって使用されるための外科医用コンソール16を含んでもよい。一人又はそれ以上の助手20も処置に参加することができる。MIRSシステム10は、患者側カート22(手術ロボット)及び電子カート24を更に有してもよい。患者側カート22は、外科医18がコンソール16を通して手術部位を観察している間、患者12の体の低侵襲な切開を通じて、少なくとも一つの取り外し可能に連結されたツールアセンブリ26(以下、単に“ツール”を呼ぶ)を操作することができる。手術部位の画像は、内視鏡28によって取得される。内視鏡28は、例えば、内視鏡28の向きを変えるように患者側カート22によって操作され得る立体視内視鏡である。電子カート24は、続く外科医用コンソール16を通じた外科医18への画像表示のために、手術部位の画像を処理するために使用されることができる。一度に使用される手術ツール26の数は一般的に、その他の要素の中でもとりわけ、その診断又は外科的処置及び手術室内の空間の制約に依存するものである。ある処置の間に、使用中の複数のツール26のうちの一つ以上を交換することが必要な場合は、助手20は患者側カート22からツール26を取り外し、手術室内のトレイ30からの他のツール26に交換することができる。

【0035】

図1Bは、(例えば図1AのMIRSシステム10のような)ロボット手術システム50を概略的に示す。前述のように、(例えば図1Aにおける外科医用コンソール16のよ

うな) 外科医用コンソール 5 2 は、低侵襲処置の間に、(例えば図 1 A における患者側カート 2 2 のような) 患者側カート(手術口ポット) 5 4 を制御するために、外科医によって使用され得る。患者側カート 5 4 は、例えば立体視内視鏡のような画像装置を使用して、処置部位の画像をキャプチャー(取得)し、キャプチャーした画像を(例えば図 1 A における電子カート 2 4 のような) 電子カート 5 6 に出力することができる。前述のように、電子カート 5 6 は、如何なる後続の表示にも先立って、キャプチャーされた画像を様々な方法で処理することができる。例えば、電子カート 5 6 は、キャプチャーされた画像を仮想制御インターフェイスに重ねてから、外科医用コンソール 5 2 を介して組み合わせられた画像を外科医に表示することができる。患者側カート 5 4 は、電子カート 5 6 の外部での処理のために、キャプチャーされた画像を出力することができる。例えば、患者側カート 5 4 はプロセッサ 5 8 に、キャプチャーされた画像を出力することができ、プロセッサ 5 8 はキャプチャーされた画像を処理するために使用され得る。画像はまた、電子カート 5 6 及びプロセッサ 5 8 の組み合わせによって処理され得る。これらは、キャプチャーされた画像を合同で、順番に及び/又はこれらの組合せで処理するように、一体に結合されることができる。一つ以上の独立した表示部 6 0 もまた、例えば処置部位の画像又はその他の関係する画像の、現地での及び/又は遠隔での画像の表示のために、プロセッサ 5 8 及び/又は電子カート 5 6 に結合され得る。

【0036】

図 2 は、外科医用コンソール 1 6 の斜視図である。外科医用コンソール 1 6 は、奥行き知覚を可能にする手術部位の協調された立体像(coordinated stereo view)を外科医 1 8 に提示するための左目用表示部 3 2 及び右目用表示部 3 4 を有する。コンソール 1 6 は、一つ以上の入力制御装置 3 6 を更に有する。入力制御装置 3 6 は、次いで患者側カート 2 2 (図 1 A 参照) に一つ以上のツールを操作させる。入力制御装置 3 6 は、それらに関連するツール 2 6 (図 1 A 参照) と同じ自由度を提供し、外科医がツール 2 6 を直接的に制御しているという強い感覚を持つように、外科医にテレプレゼンス、又は入力制御装置 3 6 がツール 2 6 と一体化しているかのような知覚を提供することができる。この目的を達成するために、ポジション、力、及び触覚のフィードバックセンサ(図示なし)を採用して、入力制御装置 3 6 を通じてポジション、力、及び触覚の知覚をツール 2 6 から外科医の手に返すように伝えてもよい。

【0037】

外科医用コンソール 1 6 は、外科医が直接処置を監視し、必要であれば物理的に居合わせ、電話又は他の通信媒体を通すのではなく助手に直接話することができるように、通常患者と同じ部屋内に位置している。しかしながら、外科医は異なる部屋、完全に異なる建物又はその他の患者から離れた場所に位置することが可能であり、遠隔外科的処置が可能である。

【0038】

図 3 は、電子カート 2 4 の斜視図である。電子カート 2 4 は、内視鏡 2 8 と結合することができる、例えば現地に及び/又は遠隔地に位置する外科医用コンソール上又は他の適切な表示部上の外科医への、続く表示のために、キャプチャーした画像を処理するプロセッサを有してもよい。例えば、立体視内視鏡が使用される場合に、電子カート 2 4 は、手術部位の協調立体像を外科医に提示するために、キャプチャーされた画像を処理することができる。そのような協調は、対向する複数の画像の間の位置合わせを含むことができ、また、立体視内視鏡のステレオ作動距離を調整することを含むことができる。その他の例として、画像処理は、例えば光学収差のような、画像取得装置の結像誤差を補償するために、以前に決定されたカメラ校正パラメータの使用を含んでもよい。

【0039】

図 4 は、複数のマニピュレータアームを有する患者側カート 2 2 を示す。マニピュレータアームは、それぞれ、マニピュレータアームの遠位端で手術器具又はツール 2 6 を支持する。図示される患者側カート 2 2 は、4 つのマニピュレータアーム 1 0 0 を含む。マニピュレータアーム 1 0 0 は、手術ツール 2 6 、又は、例えば処置の部位の画像のキャプチ

ヤーのために使用される立体視内視鏡のような画像装置 28 のいずれかを支持するために使用されることができる。操作は、多数のロボット関節を有するロボットマニピュレータアーム 100 によって提供される。画像装置 28 及び手術ツール 26 は、切開の寸法を最小化するために運動学的な遠隔中心が患者の切開に維持されるように、患者の切開を通じて配置及び操作されることができる。手術器具又はツール 26 が画像装置 28 の視野内に配置される場合に、手術部位の画像は、手術器具又はツール 26 の遠位端部の画像を含んでもよい。

【0040】

手術ツール 26 に関して、異なる種類及び様々なエンドエフェクタの種々の代替的なロボット手術ツール又は器具が使用され得る。マニピュレータの少なくともいくつかの器具は、外科的処置中に取り外され、交換される。ドゥベキー鉗子、マイクロ鉗子、ポッツはさみ及びクリップアプライヤーを含むこれらのエンドエフェクタのいくつかは、一対のエンドエフェクタ顎部を規定するように、互いに対して回転する第一のエンドエフェクタ要素及び第二のエンドエフェクタ要素を含む。外科用メス及び電気焼灼器プローブを含む他のエンドエフェクタは、単一のエンドエフェクタ要素を有する。エンドエフェクタ顎部を有する器具について、顎部は、しばしば、ハンドルの把持部材を握り締めることによって作動させられることができる。単一のエンドエフェクタ器具はまた、例えば、電気焼灼器プローブに電圧を加えるために、把持部材を握ることによって作動させられてもよい。

【0041】

器具 26 の細長いシャフトは、エンドエフェクタ及びシャフトの遠位端が、手術作業部位の中に、低侵襲的な開口を通して、しばしば腹壁又は同種のものを通して遠位側に向かって挿入されることを可能にする。手術作業部位は気体を吹き込まれてもよく、患者体内でのエンドエフェクタの動作は、しばしば、少なくとも部分的に、シャフトが低侵襲的な開口を通過する位置の回りでの器具 26 の回転によってもたらされることができる。換言すれば、マニピュレータ 100 は、エンドエフェクタの所望の動作を提供することを助けるためにシャフトが低侵襲的な開口の位置を通して延びるように、患者の体の外側にある器具の近位ハウジングを動かす。それ故に、マニピュレータ 100 は、しばしば、外科的処置中に患者 P の体の外側でかなりの動作を経験することができる。

【0042】

本発明の多くの実施形態による複数の例示的なマニピュレータアームが、図 5 A 乃至 13 C を参照して理解されることができる。前述したように、マニピュレータアームは、概して遠位の器具又は手術ツールを支持し、基部に対する器具の動作を生じさせる。外科的処置中に（しばしば外科助手の助けにより）、様々なエンドエフェクタを有する多数の異なる器具が各マニピュレータに順次取り付けられることができるように、遠位の器具保持部は、任意的に、取り付けられた器具又はツールの迅速な取り外し及び交換を可能にすることができる。図 4 を参照して理解されることができるように、マニピュレータは、患者側カートの基部に対して近位側に取り付けられる。様々な実施形態において、マニピュレータアームは、基部と遠位の器具保持部との間に延びる複数のリンク機構及び関連する関節を含む。ある複数の態様において、例示的なマニピュレータは、マニピュレータアームのうちの複数の関節が所与のエンドエフェクタポジションのための異なる構成の範囲内に駆動され得るような、冗長な自由度を有する複数の関節を含む。この構成は、本明細書において記述されるマニピュレータアームの複数の実施形態のいずれについても妥当し得る。

【0043】

図 5 A に示されるような、ある複数の実施形態において、例示的なマニピュレータアームは、近位の回転関節 J1 を有する。近位の回転関節 J1 は、その関節の遠位側のマニピュレータアームを、その関節軸の回りを周回（revolve）させるように、第一の関節軸の回りを回転する。いくつかの実施形態において、回転関節 J1 は基部に対して直接的に取り付けられており、一方で、複数の他の実施形態において、関節 J1 は一つ以上の可動なリンク機構又は関節に取り付けられてもよい。マニピュレータの複数の関節は、共同して

、マニピュレータアームの複数の関節が所与のエンドエフェクタポジションのための複数の異なる構成の範囲内で駆動されることができるよう、冗長な自由度を有する。例えば、図5 A乃至5 Dのマニピュレータアームは、異なる構成に（巧みに）誘導される（maneuvered）ことができ、一方で、器具保持部5 1 0内に支持された遠位部材（例えば、ツール5 1 2又は器具シャフトが通って延びるカニユーレ）は、ある特定の状態を維持し、所与のエンドエフェクタのポジション又は速度を含み得る。様々な実施形態において、遠位部材5 1 1はカニユーレであり、そのカニユーレを通してツールシャフト5 1 2が延び、また、器具保持部5 1 0は（柱状部材（spar）上を平行移動するれんが状の構造として示される）運搬部（carriage）であり、低侵襲な開口を通して、患者の体の中にカニユーレ5 1 1を通して延びる前に、その運搬部に対して器具が付属する。

10

【0044】

図5 A乃至5 Dのマニピュレータアーム5 0 0の個々のリンクを、図5 A乃至5 Dに図示されるようにリンクを接続する複数の関節の回転の複数の軸と共に説明する。第一のリンク5 0 4は、回動関節J 2から遠位側に延びる。回動関節J 2は、その関節軸の回りで回動し、回転関節J 1に結合されている。回転関節J 1は、その関節軸の回りで回転する。図5 Aに示されるように、複数の関節のうちの残りの多くは、それらの関連する回転軸によって特定されることができる。例えば、図示されるように、第一のリンク5 0 4の遠位端は、その回動軸の回りで回動する回動関節J 3で第二のリンク5 0 6の近位端に結合しており、第三のリンク5 0 8の近位端は、その回動軸の回りで回動する回動関節J 4で第二のリンク5 0 8の遠位端に結合している。第三のリンク5 0 8の遠位端は、回動関節J 5で器具保持部5 1 0に結合する。様々な実施形態において、関節J 2, J 3, J 4, J 5のそれぞれの回動軸は実質的に平行であり、図5 Dに示されるように、互いに隣り合って配置された場合に、リンク機構は、縮小されたマニピュレータアームの幅wを提供し、マニピュレータアセンブリの操縦中の患者のクリアランスを改善するように、“積み重ねられた”ように見える。様々な実施形態において、器具ホルダはまた、例えば直動関節J 6のような追加的な関節を含む。直動関節J 6は、低侵襲な開口を通しての器具3 0 6の軸方向の動作を容易にし、カニユーレへの器具保持部の取り付けを容易にする。カニユーレを通して器具はスライド可能に挿入される。

20

【0045】

ツール5 1 2が通って延びる遠位部材又はカニユーレ5 1 1は、器具保持部5 1 0の遠位側に追加的な自由度を含んでもよい。器具の自由度の作動は、しばしばマニピュレータのモータによって駆動されることができる。また、代替的な実施形態は、器具上にあるように本明細書において示される一つ以上の関節が代わりに接合部上にあること、又はその逆となるように、迅速に取り外し可能な器具保持部/器具接合部で器具を支持しているマニピュレータ構造から器具を分離してもよい。いくつかの実施形態において、カニユーレ5 1 1は、ツール先端の挿入点又は回動点（pivot point）P Pの近傍又は近位側に、回転する関節（図示なし）を含む。回転する関節は、おおむね低侵襲な開口の部位に配置される。器具の遠位の手首部は、その器具の手首部で一つ以上の関節の複数の器具関節軸の回りでの、手術ツール5 1 2のエンドエフェクタの回動動作を可能にする。複数のエンドエフェクタ顎部要素の間の角度は、エンドエフェクタの位置及び方向から独立して制御されることができる。

30

40

【0046】

一つの例示的なマニピュレータアセンブリの運動の範囲は、図6 A乃至6 Cを参照することにより明確に理解されることができる。外科的処置中に、一つの例示的なマニピュレータアームは、手術作業空間内の特定の患者組織にアクセスするために必要に応じて、図6 Aに示されるように、前方ピッチ構成に（巧みに）誘導されることができ、又は、図6 Bに示されるように、後方ピッチ構成に（巧みに）誘導されることができる。典型的なマニピュレータアセンブリは、一つの軸の回りを少なくとも±60度だけ、好ましくは±75度だけ前方ピッチ及び後方ピッチすることができ、また一つの軸の回りを±80度だけヨー方向に向きを変えることができる、エンドエフェクタを含む。この態様は、アセンブ

50

リを使ったエンドエフェクタの増大した操縦性を可能にするが、特に図 6 A 及び 6 B におけるようにマニピュレータアームが完全に前方ピッチ又は完全に後方ピッチの構成である場合に、エンドエフェクタの動作が制限され得る構成があり得る。一つの実施形態において、マニピュレータアームは、それぞれ、外側のピッチに関して（+ / - 75 度）及び外側のヨー関節に関して（+ / - 300 度）の運動の範囲（又は可動域，Range of Motion (ROM)）を有する。いくつかの実施形態において、ROMは、（+ / - 90 度）よりも大きなROMを提供するために、外側のピッチに関して増大し得る。この場合に、挿入制限に関連する内側の球体は概して残されるが、“不活動円錐域（cone of silence）”が、完全に消滅し得る。様々な実施形態は、増大したROM又は減少したROMを有するように構成されてもよいこと、上述のROMは説明の目的のために提供されること、更にまた、本発明は本明細書において記述されるROMに限定されないことが、明確に理解される。

10

【0047】

図 6 C は、図 5 A 及び 5 B の例示的なマニピュレータの全部の運動の範囲及びツール先端の作業空間を、図式的に表す。作業空間は半球体として示されているが、それは、例えば関節 J 1 のようなマニピュレータの一つ以上の回転関節の運動の範囲及び構成に依存して球体としても表されることができる。図示されるように、図 6 C における半球体は、中心の小さな球状の空洞と、そしてまた二つの円錐形状の空洞を含む。複数の空洞は、ツール先端の動作が機械的な拘束のために不可能であるか又はエンドエフェクタの動作を行うことを困難にする極めて高い関節速度又は遅さのために実現不可能であり得る領域を表す。これらの理由により、円錐形状の空洞は、“不活動円錐域”と呼ばれる。いくつかの実施形態において、マニピュレータアームは、錐体内のある点で特異点に到達する。不活動円錐域内又はその近傍でのマニピュレータの動作は損なわれ得るため、要求に応じてリンク及び関節を再構成するようにマニピュレータの一つ以上のリンクを手動で動かすことなく、不活動円錐域から離してマニピュレータアームを動かすことは困難であり得る。手動での再構成は、しばしば、代替的な動作モードを要求し、外科的処置を遅らせる。

20

【0048】

様々な実施形態において、これらの円錐形状部内への器具シャフトの動作は、概してマニピュレータ内の遠位のリンク機構の間の角度が比較的小さい場合に起こる。そのような構成は、（リンク機構が互いにより直交するポジションに動かされるように、）マニピュレータを再構成することによって回避され得る。例えば、図 6 A 及び 6 B に示される構成において、最も遠位のリンクと器具保持部との間の角度（角度 α ）が比較的小さくなる場合、マニピュレータの動作はより困難になり得る。様々な実施形態において、残りの関節の関節動作の範囲に依存して、ある複数のリンク機構の間の角度が縮小する場合に、マニピュレータの動作は抑制されるかも知れず、いくつかの場合には、マニピュレータアームはもはや冗長ではなくなるかも知れない。器具シャフトがこれらの円錐形状部に接近するか、又は複数のリンク機構の間の角度が比較的小さいマニピュレータ構成は、“不十分に調整されている”と言われ、マニピュレータアームの操縦性及び器用さが制限される。器用さ及び運動の範囲を維持するように、マニピュレータが“十分に調整されている”ことが望ましい。ある複数の態様において、本発明は、要求通りにマニピュレータが再構成するための命令を単純に入力することによって、たとえ外科的処置におけるエンドエフェクタの動作中であっても、使用者が上述の円錐形状部に接近した器具シャフトの動作を回避することを可能にする。この態様は、マニピュレータが、理由が何であれ“不十分に調整されている”状態となる場合に特に有用である。

30

40

【0049】

上述のマニピュレータの複数の実施形態は本発明において利用されてもよく、いくつかの実施形態は、追加的な関節を含んでもよい。その追加的な関節はまた、マニピュレータアームの器用さ及び調整を改善するために使用されてもよい。例えば、一つの例示的なマニピュレータは、関節 J 1 の近位側に回転関節及び / 又はリンク機構を含んでもよい。その回転関節及び / 又はリンク機構は、不活動円錐域を縮小又は消滅させるために、図 5 A のマニピュレータアーム及びその関連する不活動円錐域を、回転関節の軸の回りで周回さ

50

せるために使用され得る。一つの他の実施形態において、例示的なマニピュレータはまた、遠位の回動関節を含んでもよい。その回動関節は、不活動円錐域を更に縮小し、手術ツールの動作の範囲を改善するように、器具保持部を関節 J 5 に対して実質的に直角な軸の回りで回動させ、それによってツール先端をずらす。一つの更に他の実施形態において、マニピュレータアームの近位の関節、例えば J 1 は、必要に応じて不活動円錐域を動かすか又は位置を変え、マニピュレータツール先端の運動の範囲を改善するように、基部上に移動可能に取り付けられてもよい。そのような追加的な関節の使用及び利点は、図 7 A 乃至 1 3 C を参照することによって理解されることができる。図 7 A 乃至 1 3 C は、そのような関節の複数の実施例を示し、それらは、本明細書において記述される複数の例示的なマニピュレータアームのいずれにおいても、それぞれ互いに独立に使用されてもよく又は組み合わせて使用されてもよい。

10

【 0 0 5 0 】

図 7 A 及び 7 B は、例示的なマニピュレータアームと共に使用するための追加的な冗長関節 - マニピュレータアームの近位部を基部に結合する第一の関節、を示す。第一の関節は、マニピュレータアームを関節 J_t の関節軸の回りで周回させる、近位の回転関節 J_t である。近位の回転関節 J_t は、関節 J_t を近位の回転関節 J_t から所定の距離又は角度だけずらす、リンク 5 0 1 を含む。リンク 5 0 1 は、図 7 A に示されるような曲線状のリンク機構であってもよく、又は図 7 B に示されるような直線状若しくは角度を成すリンク機構であってもよい。関節 J_t の関節軸は、図 7 A の実施形態において示されるように遠隔中心 R C 又はツール先端の挿入点と一致させられてもよい。様々な実施形態において、関節 J_t の関節軸は、マニピュレータアーム内のそれぞれの他の回転関節軸と同様に、体壁での運動を防止するように遠隔中心を通過し、その結果として手術中に動作させられることができる。関節 J_t の軸は、アームの近位部に結合しており、そのため、それはアームの後部のポジション及び方向を変化させるために使用されることができる。概して、この軸のような冗長な軸は、器具先端が外科医の命令に従い、一方で、同時に他のアーム又は患者の生体構造との衝突を防止することを可能にする。ある複数の態様において、近位の回動関節 J_t は、単にマニピュレータの床に対する取り付け角度を変えるために使用される。この角度は、1) 外部の患者の生体構造との衝突を回避するため、及び 2) 体の内側の生体構造に到達するために、重要である。様々な実施形態において、近位の回転関節 J_t に取り付けられたマニピュレータの近位のリンクと、近位の回動関節の軸との間の角度 α は、約 15 度である。

20

30

【 0 0 5 1 】

図 7 B は、一つの例示的なマニピュレータアームにおける、近位の回転関節 J_t 及びその関連する関節軸と不活動円錐域との関係を示す。近位の回転関節 J_t の関節軸は、不活動円錐域を通過してもよく又は完全に不活動円錐域の外側であってもよい。マニピュレータアームを近位の回転関節 J_t の軸の回りに周回させることによって、不活動円錐域は、(関節 J_t 軸が不活動円錐域を通過する実施形態において) 縮小されることができるか又は(近位の回転関節の軸が完全に不活動円錐域の外側を延びる実施形態において) 効果上消滅させられ得る。リンク 5 0 1 の距離及び角度は、不活動円錐域に対する関節 J_t の軸のポジションを決定する。

40

【 0 0 5 2 】

図 8 は、複数の例示的なマニピュレータアームと共に使用するための、他の種類の冗長関節を示す。遠位の回転関節 J 7 は、器具保持部 5 1 0 をマニピュレータアームの遠位のリンク 5 0 8 に結合させている。遠位の回転関節 J 7 は、システムが器具保持部 5 1 0 を関節軸の回りでひねる (twist) ことを可能にする。その関節軸は、様々な実施形態において、遠隔中心又は挿入点を通過する。理想的には、回転関節は、アーム上遠位側に位置し、従って、挿入軸の方向を動かすことに特によく向いている。この冗長関節の追加は、マニピュレータが、如何なる単一の器具先端ポジションについても、複数のポジションをとることを可能にする。概して、例えば上記のような冗長関節は、器具先端が外科医の命令に従い、一方で、同時に他のアーム又は患者の生体構造との衝突を防ぐことを可能にす

50

る。遠位の回転関節 J 7 が挿入軸をヨー軸にさらに近く動かす能力を有しているため、アームの後方ピッチ動作の範囲を増大させることが可能である。遠位の回転関節 J 7 は、ヨー軸 J 1 及びツール先端の挿入軸の間の関係は、図 9 に示されている。図 10 A 乃至 10 C は、J 7 の連続した動作、及び如何にしてそれがツール先端の挿入軸の位置を左右に変えるかを示す。

【0053】

遠位の回転関節 J 7 の一つの他の利点は、それが患者クリアランスの円錐域 (patient clearance cone) を縮小し得ることである。患者クリアランスの円錐域とは、挿入点よりも近位側の、マニピュレータアームの遠位部の掃引容積 (swept volume) である。患者クリアランスの円錐域は、患者とマニピュレータアームの器具保持部又は遠位のリンク機構との間の衝突を回避するように、患者を (接触せずに) 通過するべきである。図 11 A は、遠位の回転関節の角変位が 0° のままである間の、マニピュレータアームの近位部の患者クリアランスの円錐域を示す。図 11 B は、遠位の回転関節がその軸の回りの 90° の角変位を有して示されると同時に、マニピュレータアームの近位部の縮小された患者クリアランスの円錐域を示す。このように、挿入点付近に最小限の患者クリアランスを有する処置において、本発明による関節 J 7 の使用は、要求通りのエンドエフェクタの遠隔中心位置を又はポジションを維持しながら、追加的なクリアランスを提供することができる。

【0054】

図 12 A 乃至 13 C は、複数の例示的なマニピュレータアームと共に使用するための、他の種類の冗長関節を示す。近位の関節は、マニピュレータアームを平行移動又は軸の回りで周回させる。様々な実施形態において、この近位の平行移動可能な関節は、マニピュレータアームの運動の範囲の位置を変えるか又は回転させることによって不活動円錐域を縮小又は消滅させ、マニピュレータアームのより良い調整及び改善された操縦性を提供するために、例えば関節 J 1 又は J_t のようなマニピュレータの近位の関節を、ある経路に沿って平行移動させる。平行移動可能な関節は、図 12 A 乃至 12 D 内の関節 J_{H1} において示されるような円形の経路を含んでもよく、又は、図 13 A 乃至 13 C において示されるような半円形の経路を含んでもよい。概して、関節は、マニピュレータアームを平行移動可能な関節の軸の回りで周回させる。平行移動可能な関節の軸は、遠隔中心 RC と交差する。カニユーレ 511 を通って延びるツール 512 のシャフトは、遠隔中心の回りで回転する。図 12 A 乃至 12 D に示される実施形態において、 J_{H1} のこの軸は垂直な軸であり、図 13 A 乃至 13 C に示される実施形態において、 J_{H2} の軸は水平である。

【0055】

ある複数の実施形態において、マニピュレータアーム 500 は、近位又は遠位の回転関節、近位の平行移動可能な関節及び遠位のリンク機構の平行四辺形構成のうちのいずれか又は全てを含んでもよい。これらの機構のうちのいずれか又は全ての使用は、複数のリンク機構の間の角度を増大し、それによりマニピュレータの器用さ及び運動を改善することによって、より良く“調整された”マニピュレータアセンブリを提供するために、追加的な冗長自由度を提供し、本発明による再構成を容易にする。この例示的なマニピュレータの増大された柔軟性はまた、関節の制限、特異点及び同種のものを避けるために、マニピュレータリンク機構の運動学を最適化するためにも使用されることができる。

【0056】

いくつかの実施形態において、マニピュレータの関節動作は、一つ以上の関節を駆動することによって制御される。一つ以上の関節は、システムのモータを使用して制御部によって駆動される。その複数の関節は、連動し、且つ制御部のプロセッサによって計算された関節動作に従って駆動される。数学的には、制御部は、ベクトル及び/又は行列 (マトリクス) を使用して、少なくともいくつかの関節命令の計算を実行することができる。それらベクトル及び/又は行列のいくつかは、関節の構成又は速度に対応する要素を有してもよい。プロセッサが利用可能な代替的な関節構成の範囲は、関節空間として概念化されることができる。関節空間は、例えば、マニピュレータが有する自由度と同じだけ多数の

10

20

30

40

50

自由度を有してもよい。また、マニピュレータの特定の構成は、関節空間内の特定の点を代表してもよく、各座標がマニピュレータの一つの関連する関節の関節状態に対応してもよい。

【 0 0 5 7 】

一つの例示的な実施形態において、システムは制御部を含む。その制御部に、ここではそのデカルト座標空間（本明細書においてデカルト空間（直交座標空間，Cartesian-space）と呼ばれる）として表される、作業空間内のある特徴部（feature）の命令されたポジション及び位置が入力される。その特徴部は、マニピュレータ上又はマニピュレータから離れた、制御入力を使用して連結される（articulated）制御フレームとして使用され得る、如何なる特徴部であってもよい。本明細書において記述される多くの実施形態において使用されるマニピュレータ上の特徴部の一つの例は、ツール先端であろう。マニピュレータ上の特徴部の一つの他の例は、ツール先端上にないがマニピュレータの一部である物理的な特徴部、例えばピン又は塗装された模様であろう。マニピュレータから離れた特徴部の一つの例は、正確にある距離及び角度でツール先端から離れた空いた空間内の基準点であろう。マニピュレータから離れた特徴部の一つの他の例は、マニピュレータに対するポジションが確立され得る目標組織であろう。これら全ての場合において、エンドエフェクタは、制御入力を使用して連結される仮想的な制御フレームと関連付けられる。しかしながら、以下の記述において、“エンドエフェクタ”及び“ツール先端”は、同意語として使用される。概して所望のデカルト空間エンドエフェクタポジションを等価な関節空間ポジションに写す（map）閉形式の関係は存在しないが、概してデカルト空間エンドエフェクタ速度と関節空間速度との間には閉形式の歓迎が存在する。運動学的ヤコビアンは、関節空間ポジション要素に対する、エンドエフェクタのデカルト空間ポジション要素の偏導関数（若しくは偏微分係数）の行列（マトリクス）である。このような方法で、運動学的ヤコビアンは、エンドエフェクタと複数の関節との間の運動学的関係を取得する。換言すれば、運動学的ヤコビアンは、エンドエフェクタ上の関節運動の効果を取得する。運動学的ヤコビアン（ J ）は、以下の関係（数式 1）を使用して関節空間速度（ $d q / d t$ ）をデカルト空間エンドエフェクタ速度（ $d x / d t$ ）に写像するために使用されることが

【 0 0 5 8 】

【 数 1 】

$$dx/dt = J dq/dt$$

このようにして、入力ポジションと出力ポジションとの間に閉形式の写像が存在しない場合でさえ、様々な実装が使用され得るが、速度の写像は、例えば命令された使用者入力からマニピュレータの動作を実施するためのヤコビアンに基づく制御部において、繰り返し使用されることができる。多くの実施形態がヤコビアンに基づく制御部を含むが、いくつかの実装は、本明細書において記述される複数の特徴のうちのいずれかを提供するためにマニピュレータアームのヤコビアンにアクセスするように構成され得る、様々な制御部を使用してよい。

【 0 0 5 9 】

一つのそのような実装が、以下に簡単に記述される。命令された関節ポジションは、ヤコビアン（ J ）を計算するために使用される。各時間ステップ（ t ）の間、所望の動き（ $d x_{des} / d t$ ）を実行するため及び所望のデカルト空間ポジションからの組み立て偏差（ x ）を補正するために、デカルト空間速度（ $d x / d t$ ）が計算される。このデカルト空間速度は、次いでヤコビアン（ $J^{\#}$ ）の擬似逆行列（又は一般逆行列，pseudo-inverse）を使用して関節空間速度（ $d q / d t$ ）に変換される。結果として得られる関節空間の命令された速度は、関節空間の命令されたポジション（ q ）を算出するために、次いで積分される。これらの関係は、以下（数式 2、3 及び 4）に列挙される。

【 0 0 6 0 】

【数 2】

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx_{des}}{dt} + k \Delta x \quad (1)$$

【 0 0 6 1 】

【数 3】

$$\frac{dq}{dt} = J^{\#} \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

【 0 0 6 2 】

【数 4】

$$q_i = q_{i-1} + \frac{dq}{dt} \Delta t \quad (3)$$

10

ヤコビアン（ J ）の擬似逆行列は、所望のツール先端運動（及び、いくつかの場合において、回動ツール運動の遠隔中心）を、関節速度空間に直接的に写す。使用されているマニピュレータがツール先端の自由度（最大で 6）以上の有用な関節軸を有する場合、（及びツール動作の遠隔中心が使用されているときは、マニピュレータは、遠隔中心の位置に関連する 3 自由度のために追加的な 3 つの関節軸を有するべきである）、そのときは、マニピュレータは冗長であると言われる。冗長なマニピュレータのヤコビアンは、少なくとも一の次元を有する“ゼロ空間（null-space）”を含む。この文脈において、ヤコビアンの“ゼロ空間”（ $N(J)$ ）は、同時に少しのツール先端運動も達成しない（そして遠隔中心が使用されるときには、少しの回動点位置の動きも達成しない）関節速度の空間である。そして、“ゼロ運動（null-motion）”もまた、ツール先端及び/又は遠隔中心の位置の少しの同時の動作も作り出さない、関節ポジションの組み合わせ、軌跡又は経路である。マニピュレータの所望の再構成（本明細書において記述される如何なる再構成を含む）を達成するために、計算されたゼロ空間速度をマニピュレータの制御システムに組み込むこと又は投入することは、上記の等式（2）（数式 3）を以下（数式 5 乃至 6）に変える。

20

【 0 0 6 3 】

【数 5】

$$\frac{dq}{dt} = \frac{dq_{perp}}{dt} + \frac{dq_{null}}{dt} \quad (4)$$

30

【 0 0 6 4 】

【数 6】

$$\frac{dq_{perp}}{dt} = J^{\#} \frac{dx}{dt} \quad (5)$$

【 0 0 6 5 】

【数 7】

$$\frac{dq_{null}}{dt} = (1 - J^{\#} J) z = V_n V_n^T z = V_n \alpha \quad (6)$$

等式（4）（数式 5）による関節速度は、二つの成分（components）を有する。第一の成分は、ゼロ直交空間成分であり、所望のツール先端運動（及び遠隔中心が使用されるときには、所望の遠隔中心の動き）を生み出す“最も純粋な”関節速度（最も短いベクトルの長さ）である。そして、第二の成分はゼロ空間成分である。等式（2）及び（5）（数式 3 及び数式 6）は、ゼロ空間成分がなければ、同一の等式が得られることを示す。等式（6）は、左辺のゼロ空間成分に関する従来の形式から始まり、遠く右辺において、一つの例示的なシステムにおいて使用される形式を示す。等式（6）において、（ V_n ）は、ゼロ空間についての複数の直角な基底ベクトルの組であり、（ α ）は、それらの基底ベクトルを混合するための係数である。いくつかの実施形態において、 α は、要求通りのゼロ空間内での運動を成形又は制御するために、制御パラメータ、変数又は設定によって、例えばノブ又はその他の制御手段の使用によって決定される。上記の等式（4）及び（5）（数式 5 及び数式 6）を利用して、以下の等式（数式 8）は、ゼロ空間係数を得るために

40

50

計算されることができる。そのゼロ空間係数は、複数の“ロックアウトされた”関節の動作を相殺 (cancel) するように、複数の関節を駆動するために使用されることができる。

【 0 0 6 6 】

【 数 8 】

$$dq/dt = dq_{\text{perp}}/dt + V_n \alpha \quad (7)$$

ヤコビアン of の擬似逆行列 (等式 (4) 及び (5) (数式 5 及び数式 6) 参照) から生成されたゼロ直交空間からの関節速度は、最大でゼロ空間の次元までの選択された関節のみに関して、ゼロ空間速度を使用して対抗される。“非動作”又は“ロックされた”関節のみが考慮されるならば、等式 (7) におけるベクトルの相応する成分のみが、以下 (数式 9) のようになる。

【 0 0 6 7 】

【 数 9 】

$$dq_{\text{locked}}/dt = 0 = dq_{\text{perp}(\text{locked})}/dt + V_{n(\text{locked})} \alpha \quad (8)$$

ロックアウトされた関節の相応する成分 (等式 (8) (数式 9) は次いで、関節動作相殺をもたらすために必要とされるゼロ空間係数を得るために、様々な可能な解によって解されることができる。一つの手法は、以下の等式 (等式 (9) (数式 1 0)) で $P_{\text{inverse}}(\dots)$ として表される擬似逆行列によって与えられる、最小ノルム、最小二乗解である。

【 0 0 6 8 】

【 数 1 0 】

$$\alpha = p_{\text{inverse}}(V_{n(\text{locked})}) dq_{\text{perp}(\text{locked})}/dt \quad (9)$$

一つの代替的な手法は、荷重されていない擬似逆行列ではなく、荷重された擬似逆行列を使用することであろう。この手法はまた、所望の関節の運動操作も提供するであろう。しかしながら、いくつかの場合において、この手法に関連する障害が存在し得る。例えば、それは、ゼロ空間アルゴリズムが全く使用されないか又は他のアルゴリズムに関してゼロ空間に基づくベクトルを使用するために、有効であり続けるために同一のカーネル反復において荷重された擬似逆行列及び荷重されていない擬似逆行列の両方が計算される必要があることを意味するかも知れない。これらの障害に対処する様々な他の方法が存在するが、そのような方法は、上記の複数の等式において概説されたこの手法によって可能とされる、結果として生じる動作を得るために、計算された動作を不必要に複雑化するかも知れない。

【 0 0 6 9 】

図 1 4 A は、一つの例示的なマニピュレータアームの、ヤコビアンのゼロ空間とヤコビアンのゼロ直交空間との間の関係を図式的に表す。図 1 4 A は、横軸に沿うゼロ空間 (N (J)) 及び縦軸に沿うゼロ直交空間 (N^\perp (J)) を示し、それら二つの軸は互いに直角である、二次元の概略図を示す。斜めのベクトル (q) (「 q 」 の上にドット, 数式 1 1) は、ゼロ空間速度ベクトル (q_N) (「 q 」 の上にドット, 数式 1 2) 及びゼロ直交空間速度ベクトル (q_{N^\perp}) (「 q 」 の上にドット, 数式 1 3) の合計 (sum) を表し、上記の等式 (4) (数式 5) を代表する。

【 0 0 7 0 】

【 数 1 1 】

$$\dot{q}$$

【 0 0 7 1 】

【 数 1 2 】

$$\dot{q}_N$$

10

20

30

40

50

【 0 0 7 2 】

【 数 1 3 】

$$\dot{q}^\perp$$

図 1 4 B は、“ゼロ運動マニホールド”として示される、四次元の関節空間内でのゼロ空間とゼロ運動マニホールドとの間の関係を図式的に表す。各矢印 (q_1 , q_2 , q_3 及び q_4) は、主要な関節軸を表す。閉じた曲線はゼロ運動マニホールドを表す。ゼロ運動マニホールドは、同一のエンドエフェクタポジションを同時に達成する関節空間ポジションの組である。曲線上の所与の点 A に関して、ゼロ空間は、同時に同時に少しのエンドエフェクタの動作も生み出さない関節速度の空間であるため、ゼロ空間は、点 A におけるゼロ運動マニホールドの接線 $p + A$ に対して平行である。

10

【 0 0 7 3 】

図 1 4 C は、“ロックアウトされた”関節と残りの関節との間の関係を関節空間内で図式的に表す。その概略図は多次元関節空間を示し、その多次元関節空間は、運動相殺が提供される“非動作”関節又は“ロックされた”関節 (q_i) を代表する横軸、並びに運動が許容とされる他の関節 (q_j) を代表する縦軸及びイン/アウト軸によって表される。各軸は、一つ以上の関節を代表してもよい。上述のように、運動相殺はある複数の種類の運動、例えば命令されたエンドエフェクタ操作をもたらすためのエンドエフェクタ移動動作に対して適用可能であってもよい。また、この概略図は、例えば衝突回避動作のような様々な他の種類の動作に応じて起こり得る“非動作”関節又は“ロックされた”関節の動作について述べない。図 1 4 C において、 $q[k]$ は、多次元関節空間における現在の関節ポジションを表す。左上の方を指す斜めの矢印 (q_N (J)) (q の上にドット, 数式 1 4) は、ゼロ直交ベクトルである。ゼロ直交ベクトルは、ヤコビアンに対する擬似逆行列解であり、ゼロ直交空間内にある。ゼロ直交ベクトルは楕円 N (J) の中心に向かって伸び、楕円 N (J) は、ゼロ直交ベクトルの総体及び全てのゼロ空間ベクトルの組を表す。破線の垂直な平面 (q_i) は超平面を表す、その超平面は、現在の $q[k]$ 値でロックされた関節を伴う全ての関節構成の組である。右上の方を指す斜めの矢印 (q_N (J)) (q の上にドット, 数式 1 5) は、ゼロ空間ベクトルである。注目すべきことに、これらの二つの斜めのベクトルは、互いに直角である (ゼロ直交空間はゼロ空間に対して直角である)。図示されるように、これら二つのベクトルの結果として生じる合計 (先端から末端まで) は、複合された場合に、関節の動作を代表する水平方向に沿った動きを全く有しない、関節ポジションに結果する。このようにして、上述のようにベクトルを複合することによって、所望の関節が効果上“ロックされる”。斜めの直線 $\{q_{solution}\}$ は、楕円と垂直な超平面との交差を表す (その直線は三次元の関節空間内で延びる)。このようにして、 $\{q_{solution}\}$ は、(i) ゼロ直交ベクトル及びゼロ空間動作内であること、及び(ii) ロックされるように望まれる関節に関して、それは結果として少しの動作も生じないこと、の両方を兼ねる全ての関節構成の組を代表する。したがって、 $\{q_{solution}\}$ は、所望の関節がロックアウトされる関節構成の解の組である。図 1 4 C に示される楕円のそれぞれは、 q_N (J) (q の上にドット, 数式 1 6) によって表される関節空間内の超平面に対応する。ここで、 q_N (J) (q の上にドット, 数式 1 2) は、関節速度空間内部のゼロ空間内のベクトルである。二つの楕円は、 q (q の上にドット, 数式 1 7) の分だけ離されており、同ベクトルに直交する。一方で、垂直な超平面 (q_i) は、ロックされた関節がそれらのロックされた値にある関節構成を代表する。点 $q[k]$ は時間ステップ $[k]$ についての関節ポジションを代表し、一方で、結果として生じる q は、図 1 4 C に示される等式において表現されるように、 $q[k+1]$ として表され、時間ステップ $[k+1]$ についての関節ポジションを代表する。より簡潔な用語で言えば、 $q[k+1]$ は、 $q[k]$ に、ゼロ空間及びゼロ直交空間の両方に関連する関節動作を加えたものに等しく、 $q[k+1]$ は、 $\{q_{solution}\}$ として表される解の空間内にある。

20

30

40

【 0 0 7 4 】

50

【数 1 4】

$$\dot{q}_L \in N^{\perp}(J)$$

【0 0 7 5】

【数 1 5】

$$\dot{q}_N \in N(J)$$

【0 0 7 6】

【数 1 6】

$$\dot{q}_N \Delta t$$

10

【0 0 7 7】

【数 1 7】

$$\dot{q}_L \Delta t$$

図 1 5 A 及び 1 5 B は、関節 J_t がロックアウトされた状態での、エンドエフェクタ移動動作と同時の再構成動作によるマニピュレータアームの動作の前及び後の一つの例示的なマニピュレータ 5 0 0 を模式的に示す。使用者によって入力されたエンドエフェクタ操作命令に応じて、プロセッサは、ヤコビアンのゼロ直交空間内で、関節 J_t を含む複数の関節のエンドエフェクタ移動動作を計算する。プロセッサは次いで、ゼロ空間内でのロックされた関節 J_t の相殺動作が関節の動作を相殺することができるように、ゼロ空間内で一つ以上の関節の相殺動作を計算する。そのため、計算されたエンドエフェクタ移動動作及び相殺動作に従って関節を駆動することが所望の操作動作を生じさせ、同時にロックされた関節 (J_t) の動作が相殺されるようにする。エンドエフェクタ移動動作と同時に、マニピュレータアームは、マニピュレータアームを再構成させる使用者命令に応じて計算された、再構成動作に従って駆動される。再構成動作の決定において、エンドエフェクタの状態を維持しながら、再構成動作がマニピュレータアームの所望の再構成を提供することができるように、関節 J_t を含む複数の関節の動作がヤコビアン内のゼロ空間内で計算される。図 1 5 A 及び 1 5 B の実施例に示されるように、アームの再構成動作は、関節 J_t の動作を含む。すなわち、関節 J_t がエンドエフェクタ移動動作からロックアウトされている場合であっても、ロックされた関節は、例えば命令されたマニピュレータアームの再構成のような他の作業に係る動作を生じさせる場合には動くことができる。

20

30

【0 0 7 8】

いくつかの実施形態において、関節位置及び/又は構成、又はあらゆる状況に応じて、ゼロ空間内での関節の速度のスケールが変更されるように、システムが構成されてもよい。例えば、使用者は、再構成動作中に最も近位側の関節がマニピュレータアーム内のより遠位側の関節よりも高い速度で駆動されることを望むかもしれない。加えて、システムは、マニピュレータアームの複数の関節のいずれか一つのポジション又は状態を要求通りに維持するように構成されてもよい。

【0 0 7 9】

40

ある複数の態様において、システムは、あらゆる方法でシステム使用者からの再構成命令を受けてもよい。いくつかの実施形態において、マニピュレータは、使用者からの再構成命令を受けるための入力装置を含む。その入力装置は、要求通りに一つ以上の関節を駆動するための(又は代替的に一つ以上のリンクを動かすための)、一つ以上のボタン又は機構を含んでもよい。“Commanded Reconfiguration of a Surgical Manipulator Using the Null-Space”と表題が付けられ、2012年6月1日に出版された米国仮出願第61/654,764号において記述されるように、入力装置は、マニピュレータアーム上しばしば装置の作動に応じて駆動される関節に対応する位置に配置されてもよい。当該仮出願の全ての開示は、全ての目的に関して、参照により本明細書に取り込まれる。代替的に、システムは、マニピュレータアームの一つの関節又はリンク機構それぞれ対応

50

する一群のボタン又は機構を有する入力装置を含んでもよい。本実施形態は、使用者が集中化された位置からアームを再構成することを可能にする。代替的に、入力装置は、要求通りに一つ以上の関節を駆動し、再構成をもたらすために操作され得る操作棒（ジョイスティック）を有してもよい。入力装置はあらゆる変形例を含んでもよいことが、明確に理解される。

【0080】

図16A及び16Bは、本発明の多くの実施形態によって、ロボット手術システムのマニピュレータアセンブリを再構成する方法を示す。図16Aは、患者側カートの関節状態を制御するための一般的アルゴリズムを実施するために必要な、要求されるブロックの単純化された概略図を、上述の複数の等式と関連付けて示す。図16Aの方法によれば、システムは、マニピュレータアームの順運動学を計算し、次いで、等式(1)(数式2)を使用して dx/dt を計算し、等式(5)(数式6)を使用して dq_{perp}/dt を計算し、次いで、等式(6)(数式7)を使用して、 dq_{perp}/dt 及びヤコビアンに依存し得る z から、 dq_{null}/dt を計算する。次いで、システムは、計算された dq_{perp}/dt 及び dq_{null}/dt から、それぞれ等式(4)(数式5)及び等式(3)(数式4)を使用して、 dq/dt 及び q を計算し、それにより、動作を提供する。その動作の提供により、制御部は、所望のエンドエフェクタの状態(及び/又は遠隔中心の位置)を維持したまま、所望のマニピュレータの再構成を生じさせることができる。

【0081】

図16Bは、システムの一つの例示的な実施形態のブロック図を示す。所望のツール先端状態を命令する操作命令に応じて、システムのプロセッサは、ツール先端の速度及び関節の状態を決定する。決定されたツール先端の速度及び関節の状態から、 dq_{perp}/dt が計算される。複数の関節のうちのいずれかが“非動作”又は“ロックされた”関節として指定される場合は、システムは、指定された関節に関する dq_{null}/dt を計算し、 dq_{perp}/dt 成分及び dq_{null}/dt 成分が、組み合わされたときにロックされた関節の如何なる動作にも結果しないようにする。任意的に、望まれる場合には、使用者はマニピュレータアームを再構成するために再構成命令を入力してもよい。使用者からの再構成命令を受けることに応じて、プロセッサは、決定されたツール先端速度及び関節速度(又は計算された dq_{perp}/dt)を使用して、 dq_{null}/dt を計算してもよい。その後、システムは、システムの(複数の)関節を駆動し、“非動作”又は“ロックされた”(複数の)関節の動作が相殺される所望のエンドエフェクタの動作(又は状態)、及び、ロックされた(複数の)関節の動作を含み得るマニピュレータアームの再構成を生じさせるように、全ての関節について、速度を、計算された dq/dt に加える。

【0082】

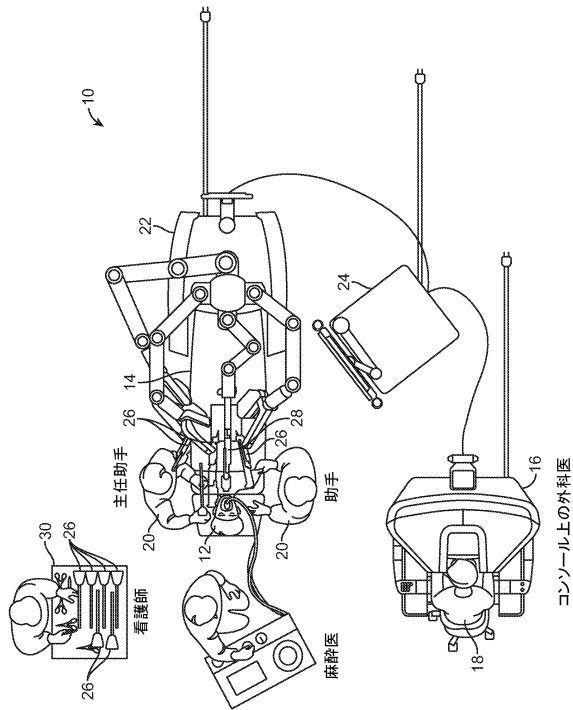
複数の例示的な実施形態が、理解の明確さのため及び例示の目的でいくらか詳細に記述されたが、様々な適応、変更及び変形が、当業者にとって明らかであろう。したがって、本発明の範囲は、添付の請求の範囲によってのみ制限される。

10

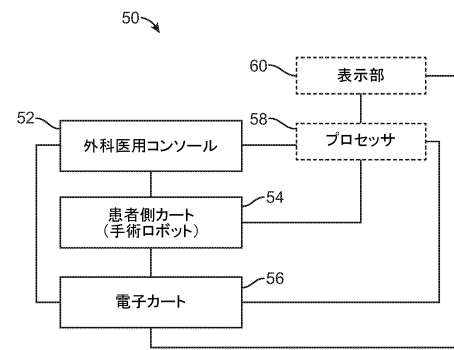
20

30

【図 1 A】



【図 1 B】



【図 2】

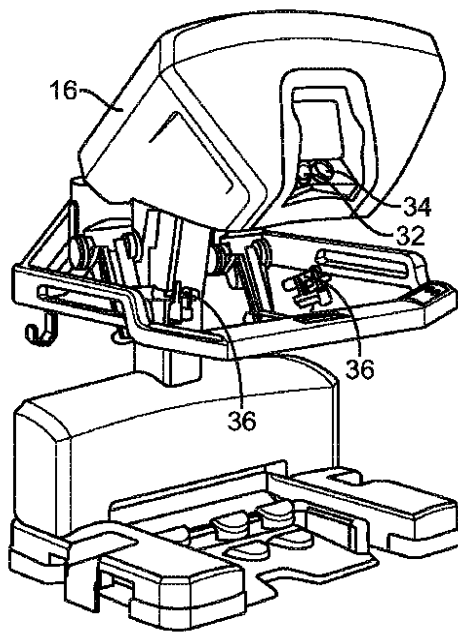


FIG. 2

【図 3】

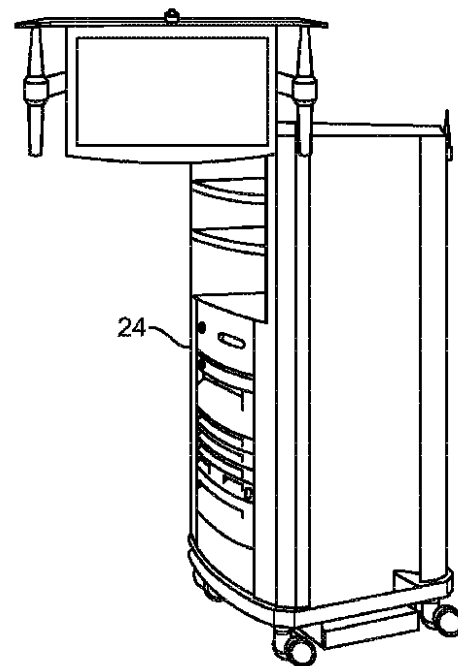


FIG. 3

【図 4】

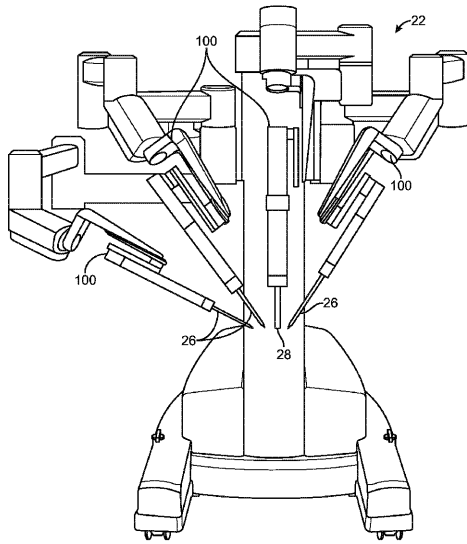


FIG. 4

【図 5 A】

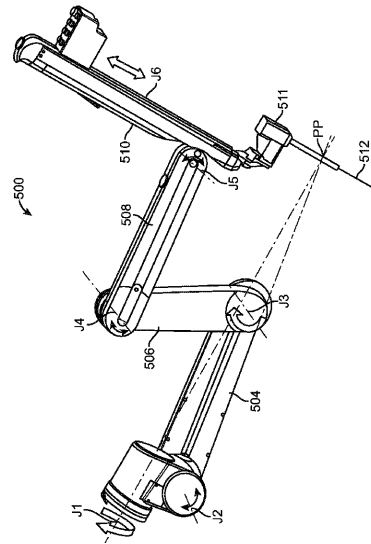


FIG. 5A

【図 5 B】

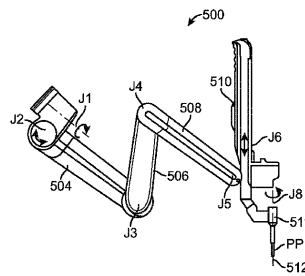


FIG. 5B

【図 5 C】

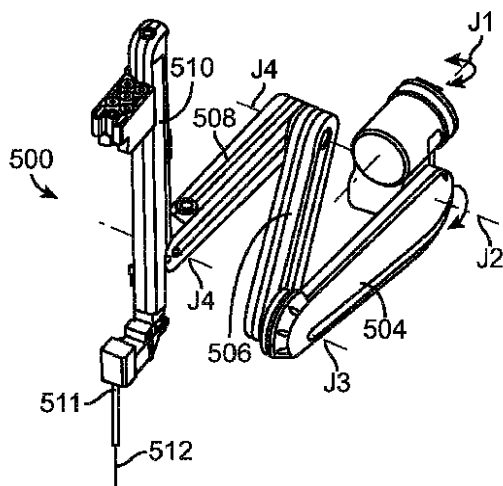


FIG. 5C

【図 5 D】

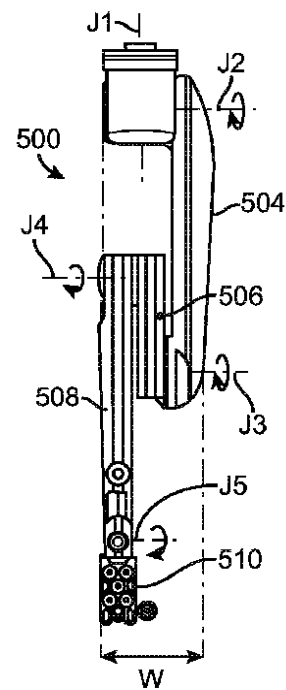
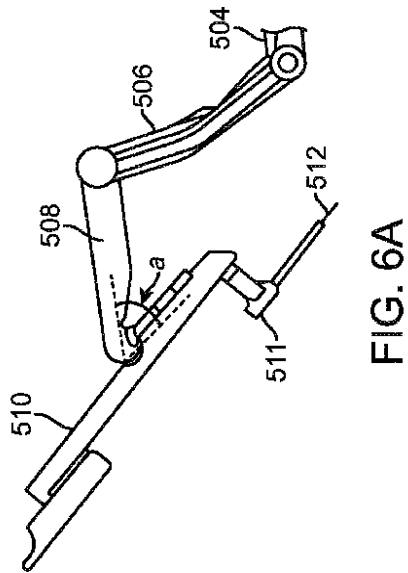
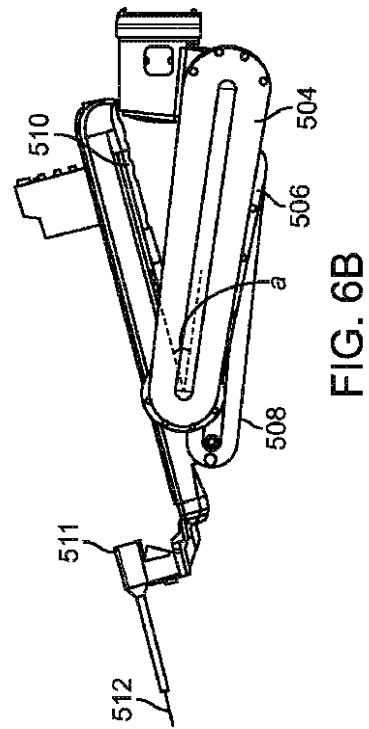


FIG. 5D

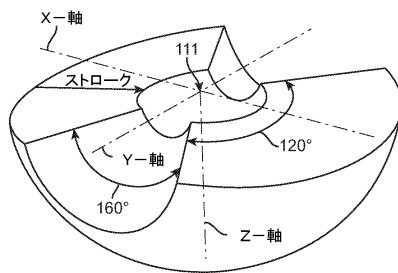
【図 6 A】



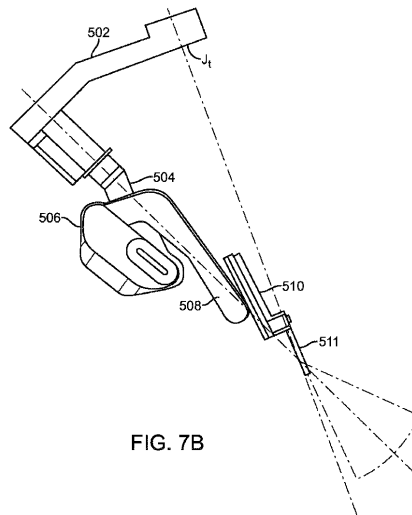
【図 6 B】



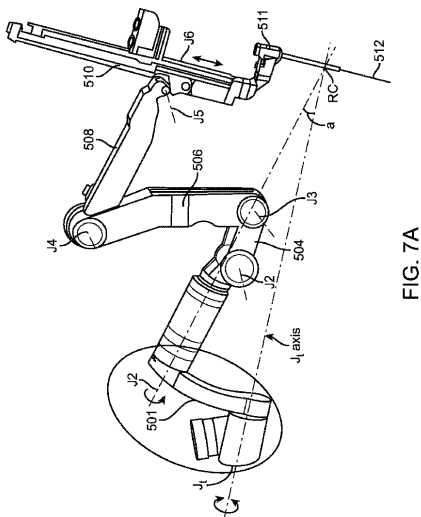
【図 6 C】



【図 7 B】



【図 7 A】



【図 8】

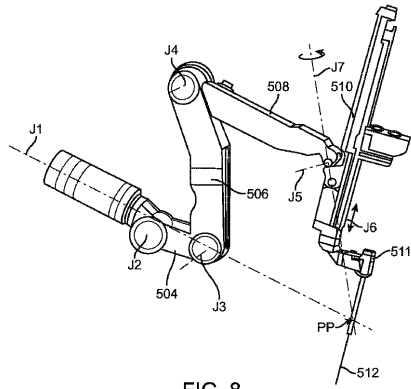


FIG. 8

【図 9】

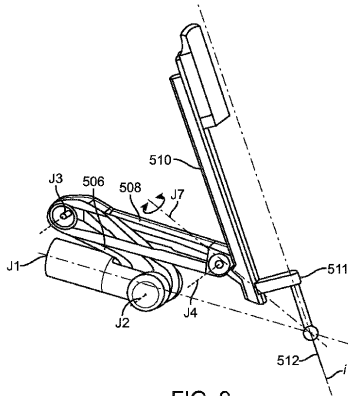


FIG. 9

【図 10 A】

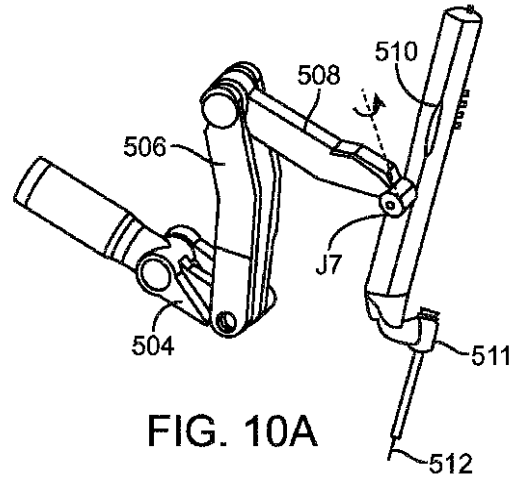


FIG. 10A

【図 10 B】

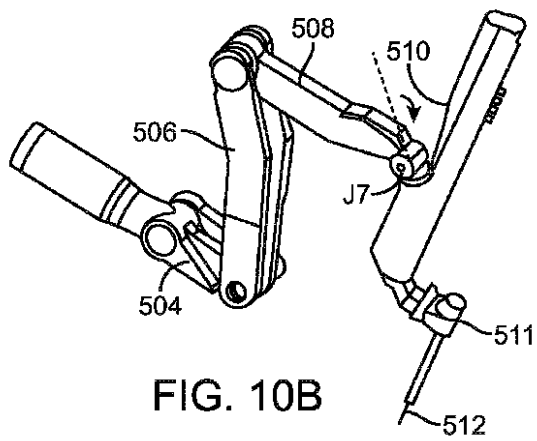


FIG. 10B

【図 10 C】

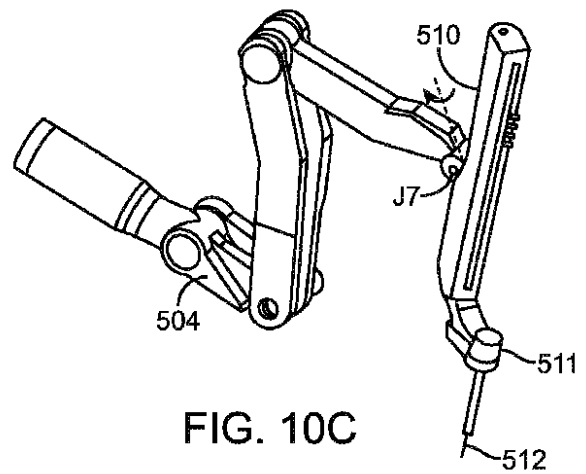


FIG. 10C

【図 11 A】

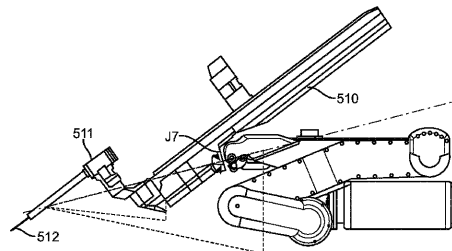
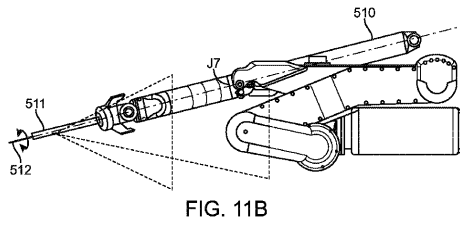
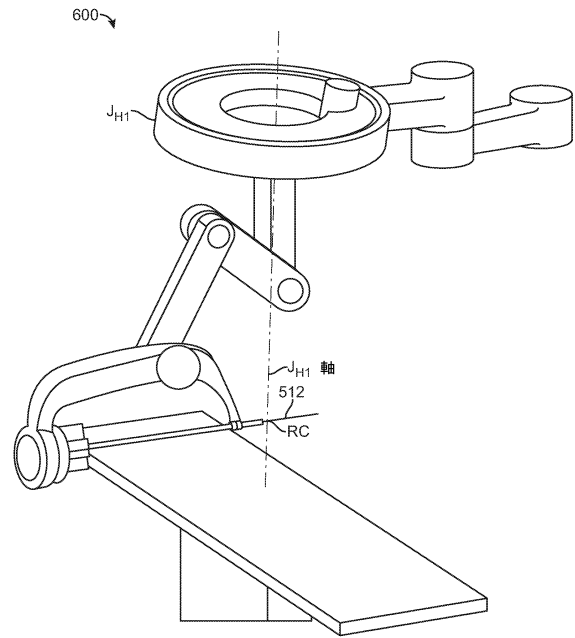


FIG. 11A

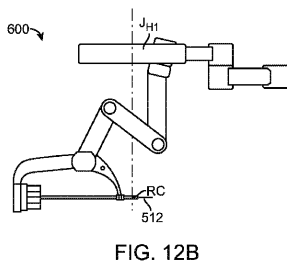
【図 11 B】



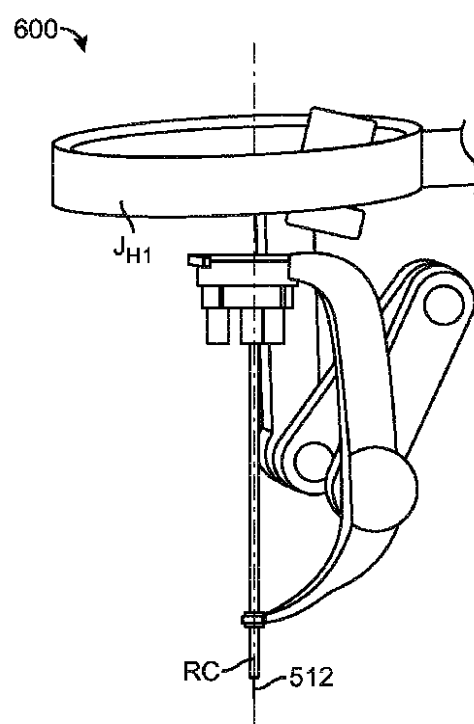
【図 12 A】



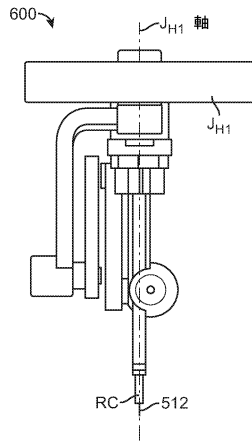
【図 12 B】



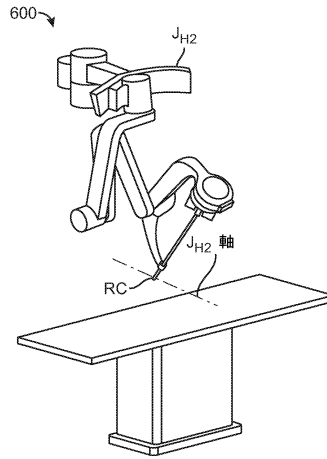
【図 12 C】



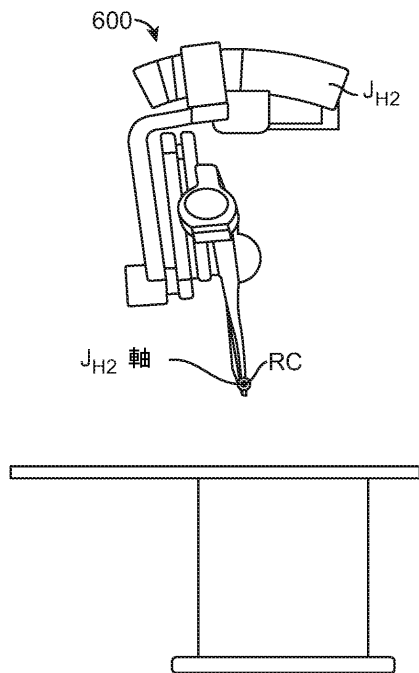
【図 12 D】



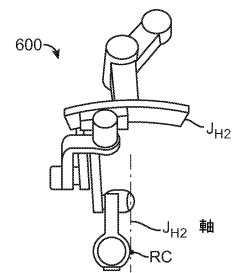
【図 13 A】



【図 13 B】



【図 13 C】



【図 14 A】

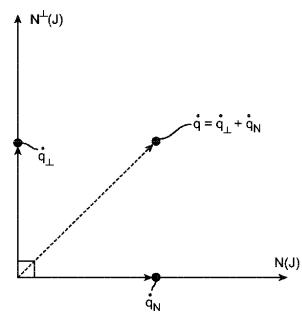
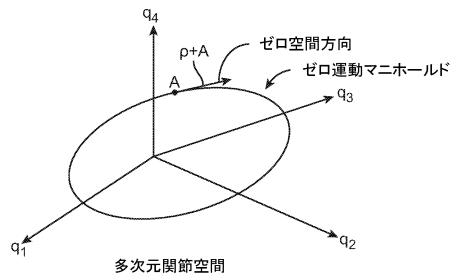
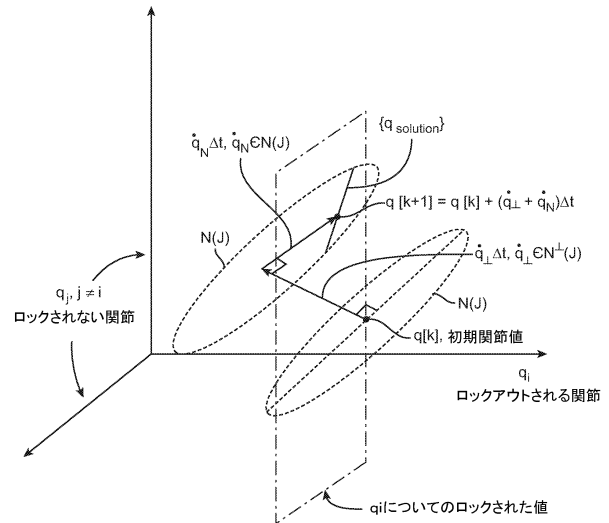


FIG. 14A

【 図 1 4 B 】



【 図 1 4 C 】



【 図 1 5 A 】

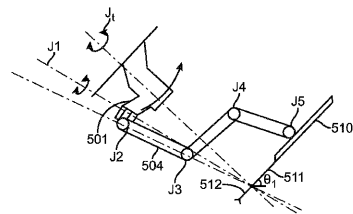


FIG. 15A

【 図 1 5 B 】

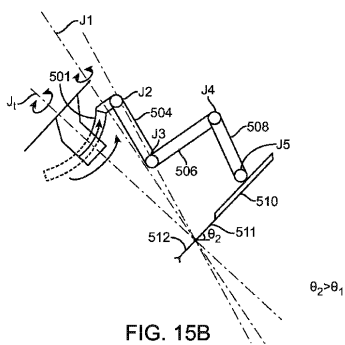
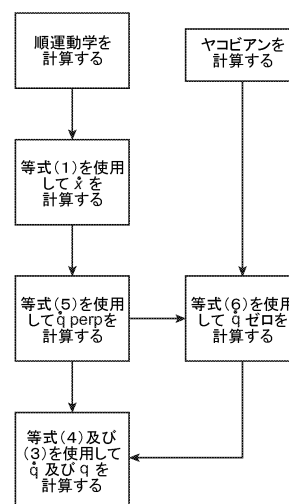
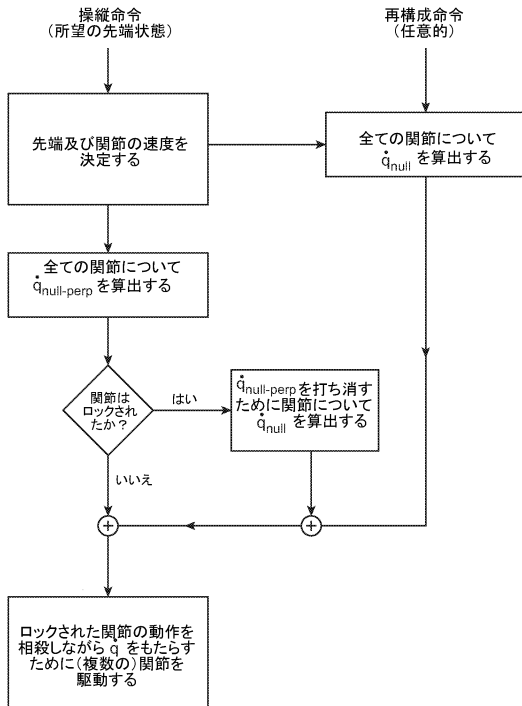


FIG. 15B

【 図 1 6 A 】



【図 16 B】



フロントページの続き

- (72)発明者 アワータッシュ, アージャン
アメリカ合衆国 95051 カリフォルニア州, サンタクララ, スティーヴンス・クリーク・ブ
ールヴァード 5255, #102
- (72)発明者 ヒンウィ, プッシュカー
アメリカ合衆国 94024 カリフォルニア州, ロスガトス, ベリー・アヴェニュー 990

審査官 近藤 利充

- (56)参考文献 国際公開第2006/124390(WO, A2)
特表2008-528130(JP, A)
特開平06-315880(JP, A)
特表2015-526115(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | | | |
|------|-------|---|-------|
| A61B | 34/00 | - | 90/98 |
| B25J | 1/00 | - | 21/02 |