

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5466004号
(P5466004)

(45) 発行日 平成26年4月9日(2014.4.9)

(24) 登録日 平成26年1月31日(2014.1.31)

(51) Int.Cl. F 1
A 6 1 B 19/00 (2006.01) A 6 1 B 19/00 5 0 2

請求項の数 12 (全 100 頁)

(21) 出願番号	特願2009-516581 (P2009-516581)	(73) 特許権者	508221224
(86) (22) 出願日	平成19年6月21日 (2007. 6. 21)		ボード オブ リージェンツ オブ ザ
(65) 公表番号	特表2009-540934 (P2009-540934A)		ユニバーシティ オブ ネブラスカ
(43) 公表日	平成21年11月26日 (2009. 11. 26)		アメリカ合衆国, ネブラスカ州 6 8 5 8
(86) 国際出願番号	PCT/US2007/014567		3 - 0 7 4 5, リンカーン, ホールドレッ
(87) 国際公開番号	W02007/149559		ジ ストリート 3 8 3 5, ヴァーナー
(87) 国際公開日	平成19年12月27日 (2007. 12. 27)		ホール
審査請求日	平成22年6月18日 (2010. 6. 18)	(74) 代理人	100068755
(31) 優先権主張番号	60/815, 741		弁理士 恩田 博宣
(32) 優先日	平成18年6月22日 (2006. 6. 22)	(74) 代理人	100105957
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 恩田 誠
(31) 優先権主張番号	60/845, 608	(74) 代理人	100142907
(32) 優先日	平成18年9月19日 (2006. 9. 19)		弁理士 本田 淳
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁氣的連結可能ロボット装置および関連する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ロボット装置であって、

- (a) 患者体内に配置されるように構成された装置本体と、
- (b) 該装置本体に動作可能なように連結された取付けコンポーネントであって、該取付けコンポーネントは、前記患者の体腔壁を貫通して位置決め可能なピンを含む、前記取付けコンポーネントと、
- (c) 該装置本体に動作可能なように連結された接続コンポーネントであって、該接続コンポーネントは、テザーを含む、前記接続コンポーネントと、
- (d) 該テザーに動作可能なように連結された外部電源と、
- (e) 第 1 の操作アームであって、
 - (i) 第 1 の肩関節を介して該装置本体の第 1 の端部と動作可能なように連結された第 1 の内部リンクと、
 - (i i) 第 1 の肘関節を介して前記第 1 の内部リンクと動作可能なように連結された第 1 の外部リンクと、
 - (i i i) 前記第 1 の外部リンクと動作可能なように連結された第 1 の操作コンポーネントを含む前記第 1 の操作アームと、
- (f) 第 2 の操作アームであって、
 - (i) 第 2 の肩関節を介して該装置本体の第 2 の端部と動作可能なように連結された第 2 の内部リンクと、

10

20

(i i) 第 2 の肘関節を介して前記第 2 の内部リンクと動作可能なように連結された第 2 の外部リンクと、

(i i i) 前記第 2 の外部リンクと動作可能なように連結された第 2 の操作コンポーネントを含む前記第 2 の操作アームと、

(g) 前記第 1 の操作アーム内に配置された少なくとも 1 つの第 1 のアクチュエータであって、該少なくとも 1 つの第 1 のアクチュエータは、前記テザー及び前記第 1 の操作アームに動作可能なように連結され、且つ前記第 1 の操作アームを動作させるように構成されている、前記少なくとも 1 つの第 1 のアクチュエータと、

(h) 前記第 2 の操作アーム内に配置された少なくとも 1 つの第 2 のアクチュエータであって、該少なくとも 1 つの第 2 のアクチュエータは、前記テザー及び前記第 2 の操作アームに動作可能なように連結され、且つ前記第 2 の操作アームを動作させるように構成されている、前記少なくとも 1 つの第 2 のアクチュエータと、

(i) 前記装置本体に動作可能なように連結された少なくとも 1 つの撮像コンポーネントであって、前記第 1 及び第 2 の操作アームの動作中にユーザが前記少なくとも 1 つの撮像コンポーネントを介して前記第 1 及び第 2 の操作アームを見ることができるよう、該少なくとも 1 つの撮像コンポーネントは、前記第 1 及び第 2 の操作アーム間に位置付けられる、前記少なくとも 1 つの撮像コンポーネントとを備えるロボット装置。

【請求項 2】

前記少なくとも 1 つの撮像コンポーネントは、前記少なくとも 1 つの撮像コンポーネントが公知の長い硬質の 2 つの腹腔鏡ツール間の切開を介して位置付けられた場合に公知の腹腔鏡により提供される視野と実質的に同一の視野を提供するように位置付けられる、請求項 1 に記載のロボット装置。

【請求項 3】

前記第 1 及び第 2 の操作アーム及び前記少なくとも 1 つの撮像コンポーネントは、公知である第 1 及び第 2 の長い硬質の腹腔鏡ツール及び公知である腹腔鏡の相対的構成を実質的に近似するように位置決めされ、

前記相対的構成は、前記公知である第 1 及び第 2 の長い硬質の腹腔鏡ツール間の切開を貫通して位置付けされた前記公知である腹腔鏡を含む、請求項 1 に記載のロボット装置。

【請求項 4】

前記第 1 及び第 2 の操作アームの各々は、少なくとも 4 自由度を有して、公知である長い硬質の腹腔鏡ツールを再現する、請求項 1 に記載のロボット装置。

【請求項 5】

前記テザーと動作可能なように連結された外部コントローラを備え、

前記外部コントローラは、

前記テザーを介して前記少なくとも 1 つの撮像コンポーネントに動作可能に連結された撮像ディスプレイコンポーネントであって、該撮像ディスプレイコンポーネントは、少なくとも 1 つの撮像コンポーネントにより取得された画像を表示するように構成される、前記撮像ディスプレイコンポーネントと、

前記テザーを介して前記第 1 及び第 2 の操作アームのうちの少なくとも 1 つに動作可能なように連結された少なくとも 1 つのジョイスティックであって、該少なくとも 1 つのジョイスティックは、前記第 1 及び第 2 の操作アームのうちの少なくとも 1 つを制御するように構成される、前記少なくとも 1 つのジョイスティックとを含む、請求項 1 に記載のロボット装置。

【請求項 6】

前記第 1 及び第 2 の操作アームの各々は、少なくとも 3 自由度を有する、請求項 1 に記載のロボット装置。

【請求項 7】

前記第 1 および第 2 の操作コンポーネントは、外科用メス、バイオプシー・ツール、焼灼器、鉗子、解剖器、結紮器、ステープラー、および超音波プローブからなる群からそれぞれ選択される、請求項 1 に記載のロボット装置。

10

20

30

40

50

【請求項 8】

ロボット装置であって、

(a) 患者体内に配置されるように構成された装置本体であって、該装置本体は、前記装置本体の第 1 の端部に配置されるか又は隣接して配置される第 1 の肩関節と、前記装置本体の第 2 の端部に配置されるか又は隣接して配置される第 2 の肩関節とを含む、前記装置本体と、

(b) 該装置本体に動作可能なように連結されたピンであって、該ピンは、前記患者の体腔壁を貫通して位置決め可能である、前記ピンと、

(c) 該装置本体に動作可能なように連結されたテザーと、

(d) 該テザーに動作可能なように連結された外部電源と、

(d) 第 1 の操作アームであって、

(i) 前記第 1 の肩関節と動作可能なように連結された第 1 の内部リンクと、

(i i) 第 1 の肘関節を介して前記第 1 の内部リンクと動作可能なように連結された第 1 の外部リンクと、

(i i) 前記第 1 の外部リンクと動作可能なように連結された第 1 の操作コンポーネントとを含む前記第 1 の操作アームと、

(f) 第 2 の操作アームであって、

(i) 前記第 2 の肩関節を介して動作可能なように連結された第 2 の内部リンクと、

(i i) 第 2 の肘関節を介して前記第 2 の内部リンクと動作可能なように連結された第 2 の外部リンクと、

(i i i) 前記第 2 の外部リンクと動作可能なように連結された第 2 の操作コンポーネントとを含む前記第 2 の操作アームと、

(g) 前記第 1 の操作アーム内に配置された少なくとも 1 つの第 1 のアクチュエータであって、該少なくとも 1 つの第 1 のアクチュエータは、前記テザー及び前記第 1 の操作アームに動作可能なように連結され、且つ前記第 1 の操作アームを動作させるように構成されている、前記少なくとも 1 つの第 1 のアクチュエータと、

(h) 前記第 2 の操作アーム内に配置された少なくとも 1 つの第 2 のアクチュエータであって、該少なくとも 1 つの第 2 のアクチュエータは、前記テザー及び前記第 2 の操作アームに動作可能なように連結され、且つ前記第 2 の操作アームを動作させるように構成されている、前記少なくとも 1 つの第 2 のアクチュエータと、

(i) 前記装置本体に動作可能なように連結された少なくとも 1 つの撮像コンポーネントであって、前記第 1 及び第 2 の操作アームおよび前記少なくとも 1 つの撮像コンポーネントが、公知である第 1 及び第 2 の長い硬質の腹腔鏡ツール及び公知である腹腔鏡の相対的構成を実質的に近似するように位置決めされるように、該少なくとも 1 つの撮像コンポーネントは、前記第 1 及び第 2 の操作アーム間に位置付けられる、前記少なくとも 1 つの撮像コンポーネントとを備えるロボット装置。

【請求項 9】

前記第 1 及び第 2 の操作アームの各々は、少なくとも 3 自由度を有する、請求項 8 に記載のロボット装置。

【請求項 10】

前記第 1 及び第 2 の操作アームの各々は、少なくとも 4 自由度を有する、請求項 8 に記載のロボット装置。

【請求項 11】

前記テザーと動作可能なように連結された外部コントローラを備え、

前記外部コントローラは、

前記テザーを介して前記少なくとも 1 つの撮像コンポーネントに動作可能に接続された撮像ディスプレイコンポーネントであって、該撮像ディスプレイコンポーネントは、少なくとも 1 つの撮像コンポーネントにより取得された画像を表示するように構成されている、前記撮像ディスプレイコンポーネントと、

前記テザーを介して前記第 1 及び第 2 の操作アームのうちの少なくとも 1 つに動作可能

10

20

30

40

50

なように連結された少なくとも1つのジョイスティックであって、該少なくとも1つのジョイスティックは、前記第1及び第2の操作アームのうちの少なくとも1つを制御するように構成されている、前記少なくとも1つのジョイスティックとを含む、請求項8に記載のロボット装置。

【請求項12】

前記第1および第2の操作コンポーネントは、外科用メス、バイオプシー・ツール、焼灼器、鉗子、解剖器、結紮器、ステープラー、および超音波プローブからなる群からそれぞれ選択される、請求項8に記載のロボット装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本出願は、本願明細書に援用する、2006年6月22日に出願した(特許文献1)、2006年9月19日に出願した(特許文献2)、2006年11月30日に出願した(特許文献3)、2007年1月12日に出願した(特許文献4)、および2007年2月5日に出願した(特許文献5)の優先権を主張するものである。

【0002】

本発明は、腹腔鏡手術で使用するロボット装置のさまざまな実施形態に関する。特に、ロボット装置は、さまざまな外科手術に使用するために外科患者体内に挿入することが可能であり、さまざまな手術の実施および/または手術が行われている領域の表示を行うことができる。

20

【背景技術】

【0003】

腹腔鏡法は、腹腔内で実施される低侵襲手術(MIS)である。これは、いくつかの日常的に行われる処置に対する最適な治療法となっている。

しかし、知られている腹腔鏡技術は、一部は1)アクセス・ポートを通じて挿入される硬質ツールを使用した結果生じる移動性の制約、および2)限られた視覚フィードバックのせいで範囲および複雑さの点で制限される。つまり、小切開を通して腹壁内に挿入された長い硬質腹腔鏡ツールは、外科医の行動範囲を制限し、したがって、実施される外科手術の複雑度を制限する。同様に、小切開部を通して挿入された典型的に硬質の腹腔鏡からの2D画像は、外科的環境の総合的な理解を狭い範囲に限定する。さらに、現行技術は、腹腔鏡(カメラ)を受け入れるために第3のポートを必要とし、新しい視点毎に、さらなる切開を必要とする。

30

【0004】

立体視およびより操縦しやすいエンド・エフェクターを使用してこれらの制限の一部を解消する、ダ・ビンチ(登録商標)サージカル・システム(da Vinci(登録商標) Surgical System)(インテュイティブ・サージカル・インコーポレイテッド社(Intuitive Surgical, Inc.)) [米国カリフォルニア州サンニール(Sunnyvale)所在]から市販されている)などのロボット・システムが開発されている。しかし、ダ・ビンチ(登録商標)(da Vinci(登録商標))は、アクセス・ポートにより制約される。他の不利点として、ダ・ビンチ(登録商標)(da Vinci(登録商標))システムのサイズおよび高いコスト、システムが大半の病院では利用できないという事実、およびシステムの感覚および移動能力が限られていることが挙げられる。さらに、大半の研究は、ダ・ビンチ(登録商標)(da Vinci(登録商標))システムなどの現在のロボット・システムは、基本的技術を用いる際に標準的な腹腔鏡手術器械に勝る改善をほとんど、または全くもたらさないことを示唆している。(例えば、非特許文献1参照)、(例えば、非特許文献2参照)、および(例えば、非特許文献3参照)を参照のこと。さらに、ダ・ビンチ(登録商標)(da Vinci(登録商標))システムおよび類似のシステムは、身体的外部から実行され、したがって、小切開を通じての作業に限界があるため常にある程度制約される。例えば、これらの小切開では、外科医は外科手術環境を直接見たり、触ったりすることができず、ツ

40

50

ール類およびカメラの終端部の運動は中心が挿入点である球の円弧に束縛される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】米国特許仮出願第60/815,741号

【特許文献2】米国特許仮出願第60/845,603号

【特許文献3】米国特許仮出願第60/868,030号

【特許文献4】米国特許仮出願第60/884,792号

【特許文献5】米国特許仮出願第60/888,182号

【特許文献6】米国特許第5,471,515号

10

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】ダキン、ジー・エフ(Dakin, G. F.)およびギャグナー、エム(Gagner, M.) (2003) "Comparison of Laparoscopic Skills Performance Between Standard Instruments and Two Surgical Robotic Systems," *Surgical Endoscopy* 17:574-579

【非特許文献2】ニオ、ディー(Nio, D.)、ベメルマン、ダブリュ・エー(Bemelman, W. A.)、デン・ボア、ケー・ティー(den Boer, K. T.)、ダンカー、エム・エス(Dunker, M. S.)、グーマ、ディー・ジェー(Gouma, D. J.)、およびファン・グフィク、ティー・エム(van Gufik, T. M.) (2002) "Efficiency of Manual vs. Robotic (Zeus) Assisted Laparoscopic Surgery in the Performance of Standardized Tasks," *Surgical Endoscopy* 16:412-415

20

【非特許文献3】メルビ、ダブリュ・エス(Melvin, W. S.)、ニードルマン、ビー・ジェー(Needleman, B. J.)、クラウス、ケー・アール(Krause, K. R.)、シュナイダー、シー(Schneider, C.)、およびエリソン、イー・シー(Ellison, E. C.) (2002) "Computer-Enhanced vs. Standard Laparoscopic Antireflux Surgery," *J. Gastrointest Surg* 6:11-16

30

【非特許文献4】ジョン・ジェー・クレイグ(John J. Craig)、"Introduction to Robotics"

【非特許文献5】チャントソピーファン(Chanthasopeephan)ら、(2003) *Annals of Biomedical Engineering* 31:1372~1382頁

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

そこで、当該技術分野では、改善された外科手術、外科システム、および外科装置が必要である。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

本明細書で開示されている一実施形態は、本体、電源、接続コンポーネント、少なくとも1つの操作アーム、および取付用コンポーネントを有するロボット装置である。本体は、患者体内に配置されるように構成される。さらに、アームは、第1の関節を介して本体に動作可能なように連結されている第1のリンクを有し、さらに、アームに動作可能なように連結されている操作コンポーネントを有する。それに加えて、操作アームは、本体内に位置決めできない。

【0009】

50

代替の一実施形態では、このアームは、さらに、第2の関節を介して第1のリンクに動作可能なように連結されている第2のリンクを有する。一実施形態では、第1の関節は、肩関節であり、第2の関節は、肘関節である。代替の一実施形態では、取付用コンポーネントは、第1の磁性コンポーネントである。それに加えて、装置の一実施形態は、ライト・コンポーネントを有するが、他の実施形態は、センサーを有する。一態様では、センサーは、内部に配置され、本体は、外部の流体が内部に入り込めないように流体封止されている。

【0010】

他の実施形態は、本体、電源、接続コンポーネント、第1の操作アーム、第2の操作アーム、および取付用コンポーネントを有するロボット装置である。本体は、患者体内に配置されるように構成される。第1の操作アームは、第1の関節を介して本体の第1の端部に動作可能なように連結されている第1のリンクを有し、さらに、アームに動作可能なように連結されている第1の操作コンポーネントを有する。第2の操作アームは、第2の関節を介して本体の第2の端部に動作可能なように連結されている第2のリンクを有し、さらに、アームに動作可能なように連結されている第2の操作コンポーネントを有する。第1または第2のアームのいずれも、本体内に位置決めできない。

10

【0011】

代替の一実施形態によれば、第1の操作アームは、さらに、第3の関節を介して第1のリンクに動作可能なように連結されている第3のリンクを有し、第2の操作アームは、さらに、第4の関節を介して第2のリンクに動作可能なように連結されている第4のリンクを有する。他の実施形態では、装置は、第1の操作アームと第2の操作アームとの間にセンサーを配置する。一態様では、操作アームおよびセンサーは、標準的な腹腔鏡ツール類の相対的構成を実質的に近似するように位置決めされる。それとは別に、第1および第2の操作アームは、標準的な腹腔鏡ツール類の動きを実質的に近似するように構成される。一実施形態では、第1および第2の操作コンポーネントは、外科用メス、バイオブシー・ツール、焼灼器、鉗子、解剖器、結紮器、ステープラー、超音波プローブ、吸引コンポーネント、または灌注コンポーネントのどれかとすることができる。

20

【0012】

本明細書で開示されている他の実施形態は、外科手術の方法である。この方法は、ロボット装置を患者の自然な開口部に通して、その自然な開口部に接続されている通路内に挿入することと、その通路の壁に切開を行うこととを含む。この方法は、さらに、患者体内の空洞内にロボット装置を挿入することと、少なくともロボット装置を使用して手術を実行することとを含む。この装置は、本体、電源、接続コンポーネント、少なくとも1つの操作アーム、および取付用コンポーネントを有する。アームは、第1の関節を介して本体に動作可能なように連結されている第1のリンクを有し、さらに、アームに動作可能なように連結されている操作コンポーネントを有する。

30

【0013】

代替の一形態では、自然な開口部は、口であり、壁は、胃である。それとは別に、自然な開口部は、肛門であり、壁は、腸壁である。さらに他の一実施形態では、自然な開口部は、臍である。一実施形態によれば、この方法は、患者を1回だけ切開することを含む。この方法の他の実施形態は、係脱されたハンドルを使用してロボット装置を位置決めすることを含む。

40

【0014】

本明細書で開示されている一実施形態は、円筒形本体、センサー、電源、接続コンポーネント、および取付用コンポーネントを有するロボット装置である。円筒形本体は、患者体内に配置され、透明コンポーネントを有するように構成される。それに加えて、センサーは、円筒形本体内に固定されるように配置される。

【0015】

一実施形態によれば、ロボット装置は、さらに、ライト・コンポーネントを有する。さらに他の実施形態では、本体は、外部の流体が本体の内部に入り込まないように流体封止

50

されている。一実施形態によれば、取付用コンポーネントは、磁性コンポーネントである。さらに他の実装では、装置は、さらに、第1の磁性コンポーネントに動作可能なように連結されるように構成されている少なくとも1つの第2の磁性コンポーネントを有する係脱されたハンドルを備えることができる。

【0016】

本明細書で開示されている他の実施形態は、本体、センサー、電源、接続コンポーネント、および取付用コンポーネントを有するロボット装置である。本体は、患者体内に配置されるように構成され、内側円筒形コンポーネントおよび外側円筒形コンポーネントを有する。一実施形態では、内側円筒形コンポーネントは、外側円筒形コンポーネントに相対的に回転可能である。本体は、流体封止され、内側円筒形コンポーネントはセンサーに隣接する透明コンポーネントを有する。

10

【0017】

1代替実施形態では、センサーは、内側円筒形コンポーネントの内部に固定されるように配置される。

さらに他の実施形態は、外科手術の方法である。この方法は、ロボット装置を患者の自然な開口部に通して、その自然な開口部に接続されている通路内に挿入することを含む。さらに、この方法は、通路の壁に切開を行うことと、患者体内の空洞内にロボット装置を挿入することと、患者体内の空洞において手術を実行することとを含む。一実施形態では、この装置は、第1の磁性コンポーネントを有し、この方法は、第2の磁性コンポーネントからなる係脱されたハンドルを患者の外面に配置し、それにより、ロボット装置が係脱されたハンドルへ引かれることを含む。他の実施形態は、この方法は、さらに、係脱されたハンドルを使用してロボット装置を位置決めすることを含む。一実施形態では、自然な開口部は、口であり、壁は、胃である。他の実装では、自然な開口部は、肛門であり、壁は、腸壁である。

20

【0018】

複数の実施形態が開示されているが、さらに他の実施形態は、当業者にとっては、本発明の例示的な実施形態を図に示し、説明する、以下の詳細な説明から明白なものとなるであろう。理解されるように、本明細書で開示されている実施形態は、すべてさまざまな本発明の精神および範囲から逸脱することなく、さまざま明らかな態様において修正を行うことが可能である。したがって、図面および詳細な説明は、性質上例示的であり制約的でないものとみなすべきである。

30

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】一実施形態による、モバイル・ロボット装置の斜視図。

【図2】他の実施形態による、モバイル・ロボット装置の斜視図。

【図3A】一実施形態による、モバイル・ロボット装置の分解図。

【図3B】一実施形態による、モバイル・ロボット装置のホイールの側面図。

【図3C】一実施形態による、モバイル・ロボット装置のホイールの平面図。

【図4】一実施形態による、カメラ・ロボットに実装された焦点調節可能コンポーネントを示す図。

40

【図5】一実施形態による、マニピュレーター・アームの斜視図。

【図6】一実施形態による、マニピュレーター・アームの分解図。

【図7A】リンクの特性を決定するために使用されるパラメータを示すラベルを取り付けたマニピュレーター・アームの一実施形態のモデルを示す図。

【図7B】ヤコビアンを決定するために使用されるマニピュレーター・アームの略図。

【図7C】マニピュレーター・アームの一実施形態の上面図。

【図7D】モーメントを計算するために想定されるリンク形状の略図。

【図8】マニピュレーター・アームの一実施形態で使用される電子回路および制御システムのブロック図。

【図9A】他の実施形態による、モバイル・ロボット装置の斜視図。

50

- 【図 9 B】さらに他の実施形態による、モバイル・ロボット装置の斜視図。
- 【図 10】他の実施形態による、薬物送達コンポーネントを有するモバイル・ロボット装置の平面図。
- 【図 11 A】一実施形態による、モバイル・ロボット装置に一体化されうる薬物送達コンポーネントの略図。
- 【図 11 B】一実施形態による、モバイル・ロボット装置に一体化されうる薬物送達コンポーネントの略図。
- 【図 12】一実施形態による、薬物送達コンポーネント内でプランジャーを移動するのに必要な外力を測定するための試験治具の略図。
- 【図 13 A】一実施形態による、薬物送達コンポーネントの断面の略図。 10
- 【図 13 B】一実施形態による、薬物送達コンポーネントの断面の略図。
- 【図 14】一実施形態による、展開された構成内の静止または固定ベース・ロボット装置の側面図。
- 【図 15】一実施形態による、展開された構成内の固定ベース・ロボット装置の側面図。
- 【図 16】一実施形態による、折り畳まれた構成内の固定ベース・ロボット装置の側面図。
- 【図 17 A】一実施形態による、磁氣的連結可能ロボット・システムの略図。
- 【図 17 B】一実施形態による、磁氣的連結可能ロボット・システムの略図。
- 【図 18】他の実施形態による、磁氣的連結可能ロボット・システムの分解図。
- 【図 19 A】一実施形態による、磁氣的連結可能ロボット装置の内側本体 360 の斜視分解図。 20
- 【図 19 B】一実施形態による、磁氣的連結可能ロボット装置の内側本体 360 の斜視図。
- 【図 20】代替実施形態による、立体映像を使用する磁氣的連結可能ロボット装置の側面図。
- 【図 21】他の代替実施形態による、磁氣的連結可能ロボット装置の側面図。
- 【図 22 A】さらに他の代替実施形態による、磁氣的連結可能ロボット装置の斜視図。
- 【図 22 B】さらに他の代替実施形態による、磁氣的連結可能ロボット装置の斜視図。
- 【図 23 A】さらに他の代替実施形態による、磁氣的連結可能ロボット装置の斜視図。
- 【図 23 B】さらに他の代替実施形態による、磁氣的連結可能ロボット装置の斜視図。 30
- 【図 24】他の代替実施形態による、磁氣的連結可能ロボット装置の斜視図。
- 【図 25】一実施形態による、バイオプシー・ツールの略図。
- 【図 26 A】一実施形態により、ロボット装置内に実装可能な関節の斜視図。
- 【図 26 B】他の実施形態により、ロボット装置内に実装可能な関節の斜視図。
- 【図 27】一実施形態による、磁氣的連結可能ロボット装置を使用して自然開口部外科手術の略図。
- 【図 28】一実施形態によるモバイル・ロボット装置およびダ・ビンチ（商標）（d a V i n c i（商標））システムと連携して使用される他の実施形態による磁氣的連結可能ロボット・カメラ装置を撮った視覚映像。
- 【図 29】斜面上に動かないように据えられたモバイル・ロボット装置の自由体図。 40
- 【図 30】モバイル・ロボット装置の一実施形態の摩擦解析で使用される弾性体モデルの図。
- 【図 31 A】マニピュレーター・アームの一実施形態で使用される反転増幅器回路の図。
- 【図 31 B】マニピュレーター・アームの一実施形態で使用される加算器増幅器回路の図。
- 【図 32】マニピュレーター・アームの一実施形態で使用される割り込み処理ルーチンの流れ図。
- 【図 33】一実施形態による 3 リンク式マニピュレーター・アームの制御設計に対する現代的制御システムのコントローラおよびプラントのブロック図。
- 【図 34】一実施形態による 3 リンク式マニピュレーター・アームに対する、外乱が含ま 50

れる、現代的制御システムのコントローラおよびプラントのブロック図。

【図35A】一実施形態により3リンク式マニピュレーター・アームのリンクージで使用する3つのモーターに対する、エンコーダー・カウントと時間(秒)との対比に基づくモーター位置のプロットであり、リンク1のモーターに対する結果を示す図。

【図35B】一実施形態により3リンク式マニピュレーター・アームのリンクージで使用する3つのモーターに対する、エンコーダー・カウントと時間(秒)との対比に基づくモーター位置のプロットであり、リンク2のモーターに対する結果を示す図。

【図35C】一実施形態により3リンク式マニピュレーター・アームのリンクージで使用する3つのモーターに対する、エンコーダー・カウントと時間(秒)との対比に基づくモーター位置のプロットであり、リンク3のモーターに対する結果を示す図。

10

【図36A】一実施形態により3リンク式マニピュレーター・アームのリンクージで使用する3つのモーターに対する、エンコーダー・カウントと時間(秒)との対比に基づくモーター位置のプロットであり、リンク1のモーターに対する結果を示す図。

【図36B】一実施形態により3リンク式マニピュレーター・アームのリンクージで使用する3つのモーターに対する、エンコーダー・カウントと時間(秒)との対比に基づくモーター位置のプロットであり、リンク2のモーターに対する結果を示す図。

【図36C】一実施形態により3リンク式マニピュレーター・アームのリンクージで使用する3つのモーターに対する、エンコーダー・カウントと時間(秒)との対比に基づくモーター位置のプロットであり、リンク3のモーターに対する結果を示す図。

【図37】一実施形態による、ジグラー・ニコルス・チューニングに基づくコントローラのシステム・ブロック図。

20

【図38A】一実施形態による、リンク1に対する根軌跡のプロットで、リンク1に対する結果を示す図。

【図38B】一実施形態による、リンク3に対する根軌跡のプロットで、リンク3に対する結果を示す図。

【図39A】一実施形態による、3リンク式マニピュレーター・アームの単位入力に対する時間応答のプロットで、リンク1に対する結果を示す図。

【図39B】一実施形態による、3リンク式マニピュレーター・アームの単位入力に対する時間応答のプロットで、リンク2に対する結果を示す図。

【図39C】一実施形態による、3リンク式マニピュレーター・アームの単位入力に対する時間応答のプロットで、リンク3に対する結果を示す図。

30

【図40】一実施形態による、進みおよび遅れ補償器が設計に組み込まれているコントローラのシステム・ブロック図。

【図41A】一実施形態による、補償器を使用するリンク1に対するシステムの応答を示し、リンク1に対する結果を示す図。

【図41B】一実施形態による、補償器を使用するリンク3に対するシステムの応答を示し、リンク3に対する結果を示す図。

【図42】一実施形態による3リンク式マニピュレーター・アームのコントローラの最終設計に対するシステム・ブロック図。

【図43】本発明の一実施形態による3リンク式マニピュレーター・アームの先端のx-z平面内の実際の動きを示す図。

40

【図44】一実施形態による、マニピュレーターの動きが時間に関して線形であり、先端の速度が一定であることを示すエンコーダー・カウント対時間のプロット。

【図45】一実施形態による、モバイル・ロボット装置の斜視図。

【図46】一実施形態による、自然開口部外科手術で使用されているモバイル・ロボット装置を示す図。

【図47】一実施形態による、自然開口部外科手術の1工程で使用されているモバイル・ロボット装置を示す図。

【図48】一実施形態による、自然開口部外科手術の他の工程を示す図。

【図49】一実施形態による、自然開口部外科手術の他の工程を示す図。

50

- 【図50】一実施形態による、自然開口部外科手術の他の工程を示す図。
- 【図51】一実施形態による、自然開口部外科手術の他の工程を示す図。
- 【図52】一実施形態による、外科手術時の他の外科用ツールを示すモバイル・ロボット装置からの画像を示す図。
- 【図53】一実施形態による、外科手術時に使用されているモバイル・ロボット装置を示す図。
- 【図54】一実施形態による、胆嚢摘出手術時の他の外科用ツールを示すモバイル・ロボット装置からの画像を示す図。
- 【図55A】一実施形態による、鉗子ツールの略図。
- 【図55B】一実施形態により、ロード・セルを含むように修正されたバイオブシー・ツールの略図。 10
- 【図56A】一実施形態により、生体内ブタ肝組織に生検を行う測定されたケーブル力を示す図。
- 【図56B】一実施形態により、生体外ウシ肝臓に生検を行う測定された抽出力を示す図。
- 【図56C】一実施形態により、ブタ肝臓に生検を行う測定された抽出力を示す図。
- 【図57】一実施形態により、減速する前に、図に示されているように、最大牽引棒力が11秒で発生するロボット生検装置からの牽引棒力発生を示す図。
- 【図58】一実施形態による、装置速度が最初にゆっくり増やされ、その後減じられる、ロボット生検装置からの牽引棒力発生を示す図。 20
- 【図59】一実施形態による、力発生を測定するために生検ロボット上に実装された作動機構を示す図。
- 【図60】一実施形態による、図59に示されているロボット生検機構から測定された力発生を示す図。
- 【図61】一実施形態による、生体内試験時にモバイル・ロボットが横切った経路を示す図。
- 【図62】一実施形態による、実験室2成分薬物送達システムを示す図。
- 【図63】一実施形態による、一方が固体で、もう一方が液体の2つの薬物成分の混合の代表的結果を示す図。
- 【図64A】一実施形態による、ロボット・カメラ装置を示す図。 30
- 【図64B】一実施形態による、2つの結像系の空間分解能を示すグラフ。
- 【図64C】一実施形態による、2つの結像系の間の色差を示すグラフ。
- 【図64D】一実施形態による、2つの結像系の間の色差を示すグラフ。
- 【図64E】一実施形態による、2つの結像系のそれぞれに対する色誤差を示すグラフ。
- 【図64F】一実施形態による、2つの結像系のそれぞれに対するレンズ歪みを示すグラフ。
- 【図64G】一実施形態による、2つの結像系のそれぞれに対するレンズ歪みを示すグラフ。
- 【図64H】一実施形態による、カメラ・システムの分解能、色精度、および歪みを検査するためのベンチトップ試験の実験装置を示す図。 40
- 【図64I】一実施形態による、2つの立体カメラのジオメトリーを示すグラフ。
- 【図65】一実施形態による、図64Hの実験装置で使用される、光源を示す図。
- 【図66A】一実施形態による、ロボット装置上の2つの立体カメラのうちの一方からの視点から見た図64Hの視覚的標的の画像を示す図。
- 【図66B】一実施形態による、他方の立体カメラの視点から見た図64Hの視覚的標的の画像を示す図。
- 【図67A】一実施形態による、図64Hの標的領域の深度図。
- 【図67B】一実施形態による、図67Aの図中の点雲から識別される円筒形の中心を示すグラフ。
- 【図67C】図64Hに示されている5つの円筒形物体すべてのxおよびy誤差を示すグ 50

ラフ。

【図68A】一実施形態により、磁氣的連結可能ロボット装置がダ・ビンチ（商標）（da Vinci（商標））ツールと連携して使用されるブタ胆嚢摘出術を示す、手術時に磁氣的連結可能装置からの画像を示す図。

【図68B】一実施形態により、磁氣的連結可能ロボット装置がダ・ビンチ（商標）（da Vinci（商標））ツールと連携して使用されるブタ胆嚢摘出術を示す、手術時に磁氣的連結可能装置からの画像を示す図。

【図68C】図68AおよびBに示されている画像の深度図。

【図68D】腹壁に当たるように位置決めされている磁氣的連結可能ロボット装置を示す図。

10

【図69】一実施形態による、本明細書で開示されているロボット装置で生じるストール・トルクを示すグラフ。

【図70A】一実施形態による、人間の腕に似た3つの回転関節（肩の2つの大きな回転と肘の1つ回転）を有する、ロボット装置設計の運動学的構成を示す図。

【図70B】一実施形態による、2つの回転関節（肩）とその後に続く1つの角柱状（直線的）遠位関節を有する、ロボット装置設計の運動学的構成を示す図。

【図71】一実施形態による、任意姿勢可動領域のサイズに基づく3つの回転関節を有する磁氣的連結可能装置のマニピュレーターの運動学的モデルを示す略図。

【発明を実施するための形態】

【0020】

20

本発明は、外科手術およびシステムで使用するロボット装置のさまざまな実施形態に関する。一般に、ロボット装置は、例えば、体腔などの、患者体内に挿入されるか、または位置決めされるように構成される。

【0021】

ロボット装置は、モバイル装置、静止または「固定ベース」装置、および磁氣的連結装置の3つの一般的カテゴリに分けられる。「モバイル装置」は、装置内のモーターによって引き起こされる推進力を介して患者体内の一方の地点から他方の地点に移動するように構成されたロボット装置を含む。例えば、モバイル装置のいくつかの実施形態は、腹腔内の腹部器官を横断することができる。「固定ベース装置」は、外科医などのユーザーによって位置決めされるロボット装置である。「磁氣的連結可能装置」は、少なくとも一部は患者体外に配置された磁石を介して位置決めされるか、操作されるか、または制御されるロボット装置である。

30

【0022】

モバイル・ロボット装置

図1は、一実施形態による、モバイル・ロボット装置10を示す。装置10は、本体12、2つのホイール14、カメラ16、および有線接続コンポーネント18（本明細書で「テザー」とも呼ぶ）を備える。カメラ16により取り込まれた画像は、接続コンポーネント18を介して表示装置または他の外部コンポーネントに送信できる。装置10は、さらに、ホイール14を回転させる原動力を与えるように構成されているモーター（図に示されていない）、モーターに電力を供給するように構成されている電源（図に示されていない）、および接続コンポーネント18を介して装置10に動作可能なように連結されているコントローラ（図に示されていない）を備える。コントローラは、ユーザーによるコントローラのマニピュレーションを介して装置10を制御または動作させることに対応できるように構成される。一実施形態では、電源は、本体の外に配置され、接続コンポーネント18を介して電力がモーターに送られる。それとは別に、電源は、装置10内に、または装置10上に配置される。

40

【0023】

代替の一実施形態では、装置10は、さらに、回転変換コンポーネント20または「テール」を有する。テール20は、逆回転を制限し、装置10がホイール14の回転をある地点から別の地点への移動に変換するのを支援することができる。「回転変換コンポー

50

ネット」は、ホイール回転を装置の移動に変換または転換するのを補助するコンポーネントまたは要素である。一実施形態では、テールは引き込むようにパネ仕掛けになっており、したがって、一実施形態によれば、ロボット装置 10 を腹腔鏡外科ツールの入口ポートに容易に挿入することができる。

【0024】

他の実装では、装置 10 は、テール 20 を持たず、有線接続コンポーネント 18 または他の何らかのコンポーネントが、逆回転を制限するために使用される。

それとは別に、他の実施形態によるモバイル・ロボット装置は、さらに、1つまたは複数の操作コンポーネント（本明細書では「マニピュレーター」とも呼ばれる）および/または1つまたは複数のセンサー・コンポーネントを備えることもできる。これらの実施形態では、装置は、撮像コンポーネントを有する場合も、有しない場合もある。つまり、装置は、1つまたは複数の撮像コンポーネント、1つまたは複数の操作コンポーネント、および1つまたは複数のセンサー・コンポーネントの任意の組合せを備えることができる。

10

【0025】

操作コンポーネントは、例えば、生検把持器であってよいであろう。さらに、1つまたは複数のセンサー・コンポーネントは、例えば、温度、血液、または他の組織もしくは体液、湿度、圧力、および/または pH を測定するためのセンサーのうちから選択されうる。

【0026】

他の代替実施形態では、接続コンポーネントは、無線接続コンポーネントである。つまり、コントローラは、無線で、装置 10 に連結され、また無線で装置 10 と接続する。このような実施形態では、装置 10 の無線接続コンポーネントは、コントローラなどの外部コンポーネントと無線で交信するためのトランシーバまたは送信機および受信機である。例えば、図 2 は、一実施形態による、無線モバイル・ロボット装置 26 を示す。

20

【0027】

一実施形態によれば、モバイル・ロボット装置は、外科手術を補助するため、または実施するために患者の体内で使用されうる。一態様では、この装置は、腹腔鏡外科手術時に使用する標準的な腹腔鏡ツールを通り抜けられるサイズのものである。他の代替実施形態では、この装置は、以下でさらに詳しく説明されるように、食道などの患者の自然開口部に挿入されるサイズのものである。さらに他の代替実施形態では、この装置は、外科手術で使用できるようなサイズおよび構成のものとすることもできる。

30

【0028】

本明細書で説明されているモバイル・ロボット装置のいくつかの実施形態はどれも、多くの方法で使用できる。例えば、モバイル・ロボット装置の一実施形態では、カメラ・システムを用いた視覚フィードバック機能と、把持器が接続されている組織切開またはパイプシー・コンポーネントを備えることが可能である。さらに、このようなロボットは、圧力、温度、pH、湿度などを測定することが可能なセンサー一式を備えることも可能である。

【0029】

一般的に上で説明されているようなロボット装置は、知られている任意の構成をとることができ、またセンサー、マニピュレーター、撮像装置、または他の知られているコンポーネントをいくつかでも装備することができることは理解される。つまり、本明細書で説明されているいくつかの態様に適合するロボット装置は、さまざまな実施形態において、円筒形または球形などの多くの異なる構成、またはそれとは別に、小さなビークルの形状などの形をとることができ、図 1、2、または 3 に示されている円筒状ロボット装置に限定されない。さらに、本明細書で説明されているロボット装置を製作する際に使用されうるロボット工学の技術で知られている異なるコンポーネントは数百個もある。例えば、数百個のコントローラ、モーター、電源、ホイール、本体、受信機、送信機、カメラ、マニピュレーター、および感知装置があり、本明細書で説明されているようにロボット装置を製作するためにさまざまな組合せで使用されうる。

40

50

【0030】

図3Aは、一実施形態による、モバイル・ロボット装置30の分解図を示している。装置30は、第1の部分34および第2の部分36を備える本体またはコア・コンポーネント32を有する。それとは別に、コア・コンポーネント32は、単一のコンポーネントとすることも可能である。カメラ38は、第1の部分34内に配置され、テール40は、第2の部分36に取り付けられる。それとは別に、カメラ38および/またはテール40は、いずれかの部分34、36に取り付けられるか、またはカメラ38およびテール40を使用できるような他の方法で装置30に関連付けられうる。さらに、モーター42は、本体32のそれぞれの端部においてそれぞれのスロット46内に配置され、それぞれのモーター42は、ホイール48の1つに動作可能なように連結される。

10

【0031】

それに加えて、図3Aに示されているように、装置30は、それぞれが本体32の少なくとも何らかの部分の上に回転可能のように配置される2つのホイール48を有する。一実施形態によれば、2つのブッシング50が備えられ、それぞれ本体32と2つのホイール48のうち的一方との間に配置される。本発明の一態様では、ブッシング50は、ホイール48を支え、ホイール48が回転時にぐらつかないようにする。それとは別に、ブッシングが備えられないか、または他の何らかの種類の種類知られている支持コンポーネントが備えられる。一実施形態によれば、ホイール48は、ホイール止めネジ52を介して装置30に連結される。

【0032】

本発明の一態様では、本体32は、本体32の残り部分よりも大きい半径を有する中心部分54を有する。それとは別に、中心部分54は、本体32の残り部分と同じ半径を有する。一実施形態によれば、本体32は、知られているどのような方法でも製作されうる。例えば、一実施形態によれば、本体32は、機械加工またはステレオリソグラフィを用いて加工される。

20

【0033】

図3Aに示されている装置30は、4つの電池44も有する。一実施形態によれば、電池44は、コア・コンポーネント32の空洞内に配置される。例えば、一実施形態では、電池44は、本体32の中心部分54内に配置される。それとは別に、装置30は、1つ、2つ、3つ、または4つを超える電池44を備えることができる。一実施形態では、それぞれの電池44は、エナジャイザー(商標)(Energiizer(商標))309小型酸化銀電池である。それとは別に、それぞれの電池44は、ロボット装置内で使用されうる公知である任意の小型電池とすることができる。他の代替え実施形態では、電源は、知られているどのような電源であってもよい。

30

【0034】

一実施形態では、装置30は、さらに、カメラ38により取り込まれた画像が、その画像を表示および/または格納するため外部コンポーネントに送信されうるように、またさらに、制御信号が、外部コントローラまたは他の外部コンポーネントから装置30のモーター42および/または他のコンポーネントに送信されうるように装置30の無線構成で使用する送信機と受信機(図に示されていない)またはトランシーバ(図に示されていない)の形の無線接続コンポーネント(図に示されていない)を有する。それとは別に、装置30は、装置30に取り付けられている有線接続コンポーネント(図に示されていない)を有する。

40

【0035】

他の実装では、装置30は、さらに、撮像コンポーネントによりキャプチャされる領域を照らすライト・コンポーネント(図に示されていない)も備えることができる。それとは別に、装置30は、ライト・コンポーネントを有しない。

【0036】

一実施形態によれば、図3Aに示されている装置30に類似しているロボット装置は、以下のようにして製作することができる。カメラ38およびテール40などの本体32に

50

関連付けられるコンポーネントは、本体 3 2 に連結される。それに加えて、電池 4 4、モーター 4 2、および他の電子回路コンポーネント（図に示されていない）など本体 3 2 内に配置されるいずれかのコンポーネントは、本体 3 2 内に位置決めされる。本体 3 2 が 2 つの部分 3 4、3 6 からなる一実施形態では、本体 3 2 に関連付けられるか、または本体 3 2 内に配置されるこれらのコンポーネントは、2 つの部分 3 4、3 6 を連結するのに先立って本体 3 2 内に位置決めされるか、または取り付けられる。一実施形態によれば、ブッシング 5 0 は、本体 3 2 のそれぞれの端部の上に配置される。それとは別に、ブッシング 5 0 が、いっさい備えられない。その後、ホイール 4 8 は、装置 3 0 上に位置決めされる。例えば、一実施形態によれば、ホイール 4 8 は、モーターの軸 5 2 上に位置決めされる。

10

【 0 0 3 7 】

図 3 A に示されている装置 3 0 は、一実施形態によれば、知られている腹腔鏡外科ツール内のポートを通り抜けるように構成される。例えば、一実施形態によれば、装置 3 0 は、標準的な 15 mm の医療用ポート内に挿入されるように構成される。

【 0 0 3 8 】

他の実施形態によれば、ロボット装置 3 0 は、鋭利な縁を持たないように製作され、これにより、装置 3 0 を使用するとき患者への損傷を減らすことができる。他の実施形態では、装置 3 0 は、生体適合性材料および/または殺菌しやすい材料からなる。

【 0 0 3 9 】

本明細書で説明されているさまざまな実施形態のいくつかの特性に適合するモバイル・ロボット装置は、本明細書において「モビリティ・コンポーネント」とも呼ばれる、移送コンポーネントを有する。「移送コンポーネント」は、2 地点間で装置を移動または移送することを可能にするコンポーネントである。一実施形態では、移送コンポーネントは、1 つまたは複数のホイールである。例えば、図 1、2、および 3 に示されているモバイル・ロボット装置の移送コンポーネントは、複数のホイールである。

20

【 0 0 4 0 】

それとは別に、本明細書で説明されているようなロボット装置は、知られているどのような移送コンポーネントをも有することができる。つまり、移送コンポーネントは、装置が一方の場所から他方の場所に移動できるようにすることが知られている任意のコンポーネントである。本出願では、歩行コンポーネント、トレッドまたはトラック（タンク内で使用されるようなもの）、ホイールと脚の両方の組合せを含むハイブリッド・コンポーネント、装置の本体を捻転することにより移動するシャクトリムシまたは蛇状構成などの移動機能の代替え方法の使用を考察している。

30

【 0 0 4 1 】

図 3 A に示されているような一実施形態によれば、ロボット装置 3 0 は、別々の複数のモーター 4 2 により独立して駆動される 2 つのホイール 4 8 を有する。一実施形態によれば、モーター 4 2 は、直流モーターである。他の実施形態では、それぞれのホイール 4 8 は、1 組の軸受と平歯車を介してモーター 4 2 に取り付けられる。一実施形態では、2 つの別々のモーター 4 2 が、前進、逆進、および旋回の機能を実現する。つまり、2 つの別々のモーター 4 2 を備える 2 つのホイール 4 8 は、装置 3 0 を前進または後退、または旋回させることができるように構成される。一実施形態によれば、2 つのホイール 4 8 は、同じ速度で回転するそれぞれのホイール 4 8 により装置 3 0 を前進または後退させる。この実施形態では、ホイール 4 8 は、異なる速度で、または異なる方向に回転するそれぞれのホイール 4 8 により装置 3 0 を旋回させることを実現する。つまり、装置 3 0 が右に旋回するとき左側ホイールは右側ホイールよりも速く回転し、装置が左に旋回するとき右側ホイールは左側ホイールよりも速く回転する。一実施形態によれば、ホイール 4 8 は、さらに、ゼロ旋回半径ももたらさう。つまり、一方のホイール 4 8 が一方の方向に回転するとき、他方のホイール 4 8 は、他方の方向に回転することができ、これにより、装置 3 0 は 180° または 360° 回転し、しかも装置 3 0 の中心部分は実質的に同じ位置に留まる。

40

50

【 0 0 4 2 】

それぞれのホイール 4 8 は、一実施形態によれば、図 3 A、3 B、および 3 C に示されているように、その外面上に表面テクスチャを有する。一実施形態によれば、表面テクスチャは、ホイール 4 8 が組織、臓器、または他の体表面上を移動するときホイール 4 8 に対する静止摩擦力を発生する。

【 0 0 4 3 】

図 3 B および 3 C は、ホイール 4 8 がホイール 4 8 上に特定の構成で配置されている隆起部分 5 8 (本明細書では「グローサー」とも呼ばれる) からなる表面テクスチャを有する一実施形態を示している。隆起部分 5 8 は、ホイール 4 8 が横断する表面と接触するホイール 4 8 の部分である。

10

【 0 0 4 4 】

隆起部分 5 8 は、一実施形態により、外径 5 8 (d) を定めるが、ホイール 4 8 は、内径 5 6 (d_r) を定める。他の実施形態によれば、一実施形態におけるホイールの内径および外径は、それぞれ 17 mm および 20 mm である。それとは別に、グローサー深さは、1.5 mm であるが、ただし、グローサー深さは $(d - d_r) / 2$ に等しい。さらなる代替実施形態では、直径および/またはグローサー深さは、本明細書で開示されているモバイル装置のホイールに使用できる計量である。

【 0 0 4 5 】

他の実施形態では、ホイールのらせん状プロファイル 5 9 は、図 3 C に示されているように 30° のピッチ角を有する。それとは別に、らせん状プロファイルは、約 0 度から約 90 度までの範囲のピッチ角を有することもできる。他の態様では、ホイール 4 8 は、トレッドを有する。それとは別に、表面テクスチャは、ホイール 4 8 に対しトラクションを発生する表面特性である。

20

【 0 0 4 6 】

一実施形態によれば、移送コンポーネントは、ロボット装置の外部表面領域の少なくとも約 80% を占める。それとは別に、移送コンポーネントは、ロボット装置の外部表面領域の少なくとも約 90% を占める。さらなる代替実施形態では、移送コンポーネントは、ロボット装置の外部表面領域の約 80% から約 98% を占める。さらに他の代替実施形態では、移送コンポーネントは、ロボット装置の外部表面領域の任意の割合を占める。

【 0 0 4 7 】

図 1、2、および 3 に示されているホイールは、丸形チューブ状トレッド付き構成を有する。それとは別に、丸形、正方形、球形、または三角形の形状など、事実上どのような構成をも使用可能である。

30

【 0 0 4 8 】

さらに、図 1、2、および 3 に示されているホイールは、アルミニウムで作られる。それとは別に、ホイールは、ゴムまたはアルミニウムとゴムの組合せで作られる。さらなる代替実施形態では、トラクションまたは移動性をもたらす事実上どのような材料も、ホイールまたは他の移送コンポーネントを製作するために使用されうる。一実施形態では、材料は、内部組織、肝臓、胃、および/または腸などの臓器などの特異な、つるつるした、起伏のある、変形可能な、または不規則な表面上で、または患者の他の内部表面、裂け目、および輪郭に対しトラクションを生じる材料であり、これらはすべて異なる表面特性を有する。

40

【 0 0 4 9 】

いくつかの代替実施形態では、ロボット装置は、1 つまたは複数のセンサー・コンポーネントを有する。さまざまな実施形態において、そのようなセンサー・コンポーネントは、限定はしないが、温度、血液、その他の体液、流体組成、CO₂ などのさまざまなガスの存在、またはその他のパラメータ、湿度、電位、心拍数、湿度、圧力、および/または pH を測定または監視するためのセンサーを備える。さらに、1 つまたは複数のセンサー・コンポーネントは、本出願の目的に関してある種のセンサー・コンポーネントと考えるべき、1 つまたは複数の撮像コンポーネントを含むことができる。撮像装置を含む、セ

50

ンサーは、本明細書で開示されているロボット装置のさまざまな設計および構成と互換性のあるような当該技術分野で知られているコンポーネントまたは装置とすることができる。

【0050】

一実施形態によれば、本明細書で説明されている複数のセンサーのうちの1つまたは複数のセンサーを有するロボット装置は、ユーザーが外科手術を実施するのを補助する。一実施形態によれば、1つまたは複数のセンサーは、標準の腹腔鏡ツールを使用したときに本質的に失われる自然な監視または感知能力の一部を復元する。したがって、1つまたは複数のセンサー・コンポーネントを使用することで、ユーザーは、より複雑な手術を実行し、および/または手術または患者をより正確に監視することができる。

10

【0051】

一実施形態によれば、撮像コンポーネントは、カメラまたは他の撮像装置とすることができる。撮像コンポーネントは、注目する領域（例えば、手術が実施される領域）の表示をユーザー向けに増大または改善するのに役立つ。一実施形態によれば、撮像コンポーネントでは、ユーザーはリアルタイム・ビデオを利用できる。

【0052】

現行の標準的な腹腔鏡では、小切開部に挿入された硬質の単一視点カメラを使用する。カメラは、限られた視野を有し、その運動は、大きく制約されている。この従来技術を使用した新しい遠近法を利用するには、他の切開部におけるカメラの取り出しおよび再挿入を必要とすることが多く、患者の危険性が高まる。このような限られた撮像とは対照的に、本明細書で説明されているさまざまな実施形態による1つまたは複数の撮像コンポーネントを有するロボット装置では、標準腹腔鏡の制限と欠点の多くがなくなり、ほとんどの無制限の運動で拡大された、および調節可能な視野が得られ、それによって手術領域のユーザーの視覚理解が改善される。

20

【0053】

本明細書で使用されているように、「撮像コンポーネント」、「カメラ」、および「撮像装置」という用語は、入れ換えて使用することができ、イメージ・センサーまたはコレクターから表示コンポーネントに伝搬する画像信号を生成するために使用される撮像要素および処理回路を意味するものとする。一実施形態によれば、画像は、動画であり、表示コンポーネントは、テレビまたはビデオ・モニターなどの標準ビデオ表示コンポーネントである。それとは別に、画像は、静止画像である。さらなる代替実施形態では、画像は、静止画像と動画の組合せである。本明細書で使用されているような「イメージ・センサー」という用語は、画像をキャプチャし、格納するコンポーネントを意味する。一実施形態では、イメージ・センサーは、ピクセルの配列内の複数のピクセルのそれぞれのピクセルの構造内にそのような画像を格納するセンサーである。本明細書で使用されているような「信号」または「画像信号」という用語は、特に断りのない限り、特定のフォーマットまたはドメインに置かれている電子の形態で見られる画像を意味する。本明細書で使用されているような「処理回路」という用語は、イメージ・センサーから画像信号を受信し、最終的に画像信号を使用可能なフォーマットにする撮像装置内の電子回路コンポーネントを意味する。本明細書で使用されているような「タイミングおよび制御回路」または「回路」は、ピクセル配列から画像信号の放出を制御する電子回路コンポーネントを指す。

30

40

【0054】

一実施形態によれば、撮像コンポーネントは、小型カメラである。例示的な一実施形態では、撮像コンポーネントは、マイクロン・テクノロジー・インコーポレイテッド社（Micron Technology, Inc.）[米国アイダホ州ボイシ（Boise）所在]のモデルNo. MT9V125などの相補型金属酸膜半導体（「CMOS」）デジタル・イメージ・センサーである。それとは別に、撮像コンポーネントは、1辺7mmの正方形のカメラである。代替の一実施形態では、カメラは、セル方式携帯電話または携帯電話で現在使用されているものに似た小型カメラとすることができる。他の実施例では、撮像装置は、内視鏡装置内で現在使用されているか、または内視鏡装置とともに現在使

50

用されている撮像装置とすることができる。一実施形態では、撮像装置は、腹腔全体を観察するために十分な被写界深度を有する装置である。

【0055】

他の実施形態によれば、撮像装置は、電荷結合素子(CCD)、電荷注入素子(CID)、フォトダイオード・アレイ(PDA)、または他のCMOSを含むふつうの固体イメージ・センサーを使用することができ、システムのインターフェース機能が簡素化される。例えば、アクティブ・ピクセル型アレイを含む好適なCMOS撮像装置は、本願明細書に組み込まれる、例えば、特許文献6で開示されている。このCMOS撮像装置は、かなり大きなサイズの複数の回路基板上に通常見られる多数の他の異なる電子制御装置を組み込むことができる。例えば、タイミング回路、ならびにズームおよびジッタ防止制御装置などの特殊な機能は、ホスト回路基板の全体的サイズを著しく増やすことなくCMOSピクセル・アレイを含む同じ回路基板上に配置できる。それとは別に、撮像装置は、サン・マイクロシステムズ・インコーポレイテッド社(Sun Microsystems, Inc.) [米国カリフォルニア州マウンテン・ビュー(Mountain View)所在]から市販されているCCD/CMOSハイブリッドである。

10

【0056】

一実施形態によれば、撮像装置は、NTSC形式のビデオ出力を供給する。例えば、本明細書で説明されている装置に適している市販の小型NTSCビデオ形式伝送チップを使用できる。それとは別に、知られている形式の知られているビデオ出力は、本明細書で説明されている任意の装置に組み込むことができる。

20

【0057】

一実施形態による、撮像コンポーネントは、手動焦点調節コンポーネントを有する。それとは別に、撮像コンポーネントは、機械的作動焦点調節可能コンポーネントを有する。さまざまな焦点調節可能機構が、当該技術分野では知られており、多くの種類の知られている撮像コンポーネントの焦点調節を作動するのに適している。

【0058】

一実施形態では、撮像コンポーネントは、約2mmから無限大までの範囲の焦点を持つことができる。それとは別に、撮像コンポーネントは、知られている焦点調節可能カメラのと似た焦点距離を有することができる。

【0059】

それとは別に、撮像コンポーネントは、モーター62により回転される送りネジ64に直接接続されているモーター62を使用する図4に示されているような焦点調節可能機構60を有する。この実施形態では、送りネジ64は、回転して、送りナット66を上下に進める。この上下運動は、リンケージ68により変換されて、左から右へ移動するスライダ70に伝えられる。スライダ70は、機構ハウジングまたはガイド72により適所に保持される。スライダ70に取り付けられているレンズまたはイメージ・センサーは、左から右へ前後に平行移動して焦点調節機能を実行できる。いくつかの実施形態によれば、撮像コンポーネントの焦点調節可能機構に動力を供給するために使用されるモーター62は、さらに、以下でさらに詳しく説明されるように、例えば、バイオプシー・コンポーネントなどのロボット装置の他のコンポーネントに動力を供給するためにも使用されう

30

40

【0060】

他の実施形態によれば、撮像コンポーネントは、画質に関係するさまざまな特性を調節するために外部から制御できる。例えば、一実施形態によれば、ユーザー・カラー、ホワイト・バランス、彩度、および/または他の知られている調節可能な特性により、以下の1つまたは複数が調節されうる。一実施形態によれば、この調節機能は、例えば、照明が暗いなどの劣等な観察条件において品質フィードバックを与えることができる。

【0061】

一実施形態によれば、本明細書で開示されているモバイル撮像装置は、そのような装置とともに使用されうる公知のレンズを有することができる。特定の一実施形態では、レン

50

ズは、サネックス社（Sunex）[米国カリフォルニア州カーズバッド（Carlsbad）所在]から市販されているプラスチック・レンズ、モデルNo. DSL756Aである。この実施形態は、焦点調節可能な機能を必要とする、短い被写界深度のみを与える。これを実現するために、この実装のレンズは、作動機構に取り付けられ、これにより、焦点調節可能な機能を形成できる。レンズは、2mmから無限大までの焦点距離に調節できる作動機構により移動される。それとは別に、レンズは、本明細書で説明されている撮像装置のどれかに組み込むことができる任意のレンズとしてよい。

【0062】

さらに他の代替実施形態では、撮像コンポーネントは、画像安定化コンポーネントを備えることができる。例えば、一実施形態によれば、この装置は、当該技術分野で知られているようなベース動き推定を得るためにオプティカル・フローから導き出された画像動き推定を含むオンボード加速度計測定機能を備えることが可能である。それとは別に、画像安定化コンポーネントは、そのような市販のどのようなコンポーネントであってもよい。オプティカル・フローは、連続画像フレーム間で計算された変位の信頼性の高い推定値を得るように示されている。これらのロボット・ベース動き推定を使用することで、画像安定化アルゴリズムを使用して、画像安定化を行うことができる。それとは別に、知られている画像安定化技術は、撮像コンポーネントとともに使用するために組み込まれうる。

10

【0063】

いくつかの実施形態では、カメラは、ロボット装置の本体に関して固定され、ロボット位置は、観察対象の領域を変更するために変更されなければならない。それとは別に、カメラ位置は、ロボット装置に関してユーザーがカメラを移動できるように装置に関して変更されうる。一実施形態によれば、ユーザーは、本明細書でさらに詳しく説明されているように装置に動作可能なように連結されているコントローラを使用してカメラの位置を制御する。

20

【0064】

ロボット装置は、さらに、一実施形態により、観察対象の領域を照らすための照明コンポーネントを備えることもできる。一実施形態では、照明コンポーネントは、LEDライトである。それとは別に、照明コンポーネントは、任意の照明光源とすることができる。

【0065】

一実施形態によれば、カメラは、図3Aに示されているように、装置の本体の中心部分に配置される。それとは別に、カメラは、本体の任意の部分に配置されうる。さらに他の代替実施形態では、カメラは、ロボット装置のどこかの場所に配置できる。

30

【0066】

一実施形態によれば、ロボット装置は、1つまたは複数の操作コンポーネントを有する。本明細書で使用されているような「操作コンポーネント」は、外科または診査手術に関係する何らかの活動または手術を実施するコンポーネントを意味することを意図されている。一実施形態によれば、操作コンポーネントは、さらに、「マニピュレーター」とも呼ばれ、本明細書でさらに詳しく述べられているように、クランプ、外科用メス、任意の種類のパイオプシー・ツール、把持器、鉗子、ホチキス、切断装置、焼灼装置、超音波燃焼装置、または他の類似のコンポーネントとすることができる。さらに他の実施形態では、操作コンポーネントは、知られている外科または診査腹腔鏡手術を実施するか、または実施するのを補助することができる装置である。一態様では、1つまたは複数の操作コンポーネントは、高い任意姿勢可動性を必要とする手術を補助する。現在知られている技術では、移動は制約されており、小切開部に硬質腹腔鏡ツールを通す作業は、ツール先端の移動および位置決めを制約する。それと対照的に、空洞の内側に操作コンポーネントを有するロボット装置は、その同じ制約を受けない。

40

【0067】

一実施形態では、操作コンポーネントは、さらに、アームまたは他の位置決めコンポーネントを備えることもできる。例えば、操作コンポーネントは、アームおよびパイオプシー・ツールを備えることができる。それとは別に、操作コンポーネントは、上記のように

50

位置決めコンポーネントおよび操作コンポーネントを備えることができる。

【0068】

一実施形態によれば、本明細書で説明されているか、または考察されている操作コンポーネントは、既製品の手術道具またはそれを改造した手術道具とすることができる。それとは別に、そのような操作コンポーネントを新しく製作することができる。

【0069】

図5および6に示されている操作コンポーネントは、一実施形態により、3本のアームまたは「リンク」82を有するマニピュレーター・アーム80である。アーム80は、2つの関節84を有し、それぞれモーター86に連結されている。一実施形態によれば、図6に最もよく示されているように、リンク82は2つの要素からなり、この2つの要素はくっついてただ1つの構成になる。

10

【0070】

関節84は、知られている形に構成される。図5および6に示されているような一実施形態では、それぞれの関節84は、モーターに連結されている歯車88、およびピン92に連結されている他の歯車90を有する。1実施態様では、これらの歯車はかさ歯車である。一実施形態によれば、これらの歯車は、ストック・ドライブ・プロダクツ/スターリング・インスツルメント (Stock Drive Products / Sterling Instruments) [米国ニューヨーク州ニュー・ハイド・パーク (New Hyde Park) 所在] から市販されている標準マイタ歯車である。

【0071】

一実施形態では、アームは、ステレオリソグラフィを使用して製作された。一実施形態によれば、プラスチックに似た硬化樹脂材料からリンケージおよびベース・セクションを製作するために、ステレオリソグラフィを使用できる。

20

【0072】

リンケージで使用されうる、一実施形態によるモーターは、マイクロモ・エレクトロニクス社 (MicroMo Electronics) [米国フロリダ州クリアウォーター (Clearwater) 所在] によって製造されているエンコーダーを備えるDCマイクロメーターである。このモーターは、15,800rpmの無負荷速度、4.104g・cm (0.057オンス・インチ) のストール・トルクを有し、重量3.40g (0.12オンス) の6Vモーターである。モーターの直径は8mm、長さは16mmである。無負荷速度が大きいため、高精度の遊星ギアヘッドが使用される。モーター、ギアヘッド、およびモーターとともに使用されうるエンコーダーの詳細は、実施例2において説明される。それとは別に、アームでは、3Vモーターなどの低電圧モーターを使用できる。

30

【0073】

一実施形態では、アームは、軸速度と回転方向の両方の指示および制御、さらには位置決めで使用されるエンコーダーを有する。一実施形態では、エンコーダーは、10mmの磁気エンコーダーである。これは、長さが16.5mmであるが、アセンブリの全長に11.5mmが加わるに過ぎない。

【0074】

図7Aは、 L_L 、 L_B 、 M_1 、 M_2 、 m_1g 、 m_2g 、および W_p というラベルが付けられている1つのマニピュレーター実施形態の略図である。制限されることなく、この略図は、1マニピュレーター実施形態に関係するさまざまな特性を計算するために使用されており、以下の実施例2でさらに詳しく説明される。試験に基づき、この特定の実施形態について、64:1の減速比であれば、設計を最適化しながら十分なトルクが得られる。それとは別に、他の減速比を有する高精度歯車も使用されうる。

40

【0075】

図8に示されているような一実施形態では、アームの電子回路および制御装置は、MEI DSPモーター・ドライバーPCIカードを備えるPC、MEIカードからの出力電圧をシフトし、スケールリングするアナログ回路、それぞれの軸のアナログ電圧をPWM信号に変換するマイクロコントローラ、およびモーターを駆動するH-Bridge IC

50

Sの4つの主要セクションからなる。この実施形態は、以下の実施例2でさらに詳しく説明される。

【0076】

一実施形態では、マニピュレーターは、生検鉗子または把持器である。一態様によれば、マニピュレーターは、生検鉗子または把持器をアームの一端に備える。

他の実施形態では、本発明のマニピュレーターは、マニピュレーターを操作するのに必要な力を発生する作動機構を備える。例えば、マニピュレーターが生検鉗子または把持器である一実施形態によれば、マニピュレーターは、さらに、鉗子または把持器で生検標本を切断/取得することができる十分な力を発生する作動機構も有する。一実施形態によれば、作動機構は、0.6Nを超える大きさの牽引力を発生する。それとは別に、作動機構は、生検標本を取得するのに十分な量の力を発生する。さらなる代替え実施形態では、作動機構は、クランプ、ホチキス、カッター、焼灼器、バーナーなどの任意の種類のマニピュレーターを操作するのに十分な力を発生する。

10

【0077】

図9Aは、バイオプシー・ツール102を有するロボット装置100を示している。円筒形ロボット装置100は、生検鉗子102が組織採取に使用されるアームの一端にある付属物またはアーム106を有する円筒形本体104を有する。一実施形態によれば、ロボットの把持器102は、120度まで開くことができる。さらなる代替え実施形態では、鉗子102は、知られている任意の構成をとりうる。

【0078】

一実施形態では、本体104は、さらに、撮像コンポーネント(図に示されていない)、カメラ・レンズ108、モーターおよびビデオ制御ボード(図に示されていない)、ならびに作動モーター(図に示されていない)およびカメラ調節可能焦点用の機構(図に示されていない)を含む。この実施形態では、撮像コンポーネントおよびレンズ108は、生検把持器102用にスペースが設けられるように横へオフセットされる。カメラ側面のホイール110は、機械加工で溝112が掘られており、これにより、腹部環境および生検把持器102を見られるようにカメラ・レンズ108のスペースが設けられる。それとは別に、カメラおよびレンズ108は、使用中の外科手術領域および/または生検把持器102をカメラを使用して見られるようにロボット装置100上のどこかに配置される。装置100は、外部コンポーネント(図に示されていない)に接続されている有線接続コンポーネント114である。

20

30

【0079】

図9Bは、代替え実施形態による、モバイル・ロボット装置120を示している。この実施形態では、装置120は、無線である。つまり、装置120は、装置120を患者体外に位置する外部コンポーネントに物理的接続する有線接続コンポーネントをいっさい持たない。図9Bの構成において、装置120は、図9Aの有線デバイスに似た構成をとる。つまり、装置120は、円筒形本体122および、バイオプシー・ツール126を有するアーム124を備える。さらに、装置120は、図9Aの実施形態に関して上で説明されているものに似た他のコンポーネントも有することができる。代替えの一実施形態において、装置120は、さらに、本体122に接続される、上でさらに詳しく説明されている、「テール」128も有する。

40

【0080】

使用時に、カメラおよび図9Aおよび9Bに示されている装置などのバイオプシー・ツールを備えるロボット装置を使用して、生検標本を取得できる。装置は、標準的なトロカールを通して、または本明細書で説明されている自然開口部外科手術を使用するなどして、体内に挿入できる。ユーザーは、オンボード・カメラからの視覚的フィードバックを使用して装置を制御することができる。この機動性により、ロボットは、注目する領域に移動し、特定の組織を採取することができる。次いで、バイオプシー・ツールを作動させて、組織標本を採取できる。さらに他の実施形態では、生検鉗子が、切断された動脈を締め付けて遮断することができるクランプを備える。

50

【0081】

代替え実施形態では、マニピュレーターは、薬物送達コンポーネントである。つまり、一実施形態によれば、本明細書で開示されているロボット装置は、ヒトを含む、動物に薬剤を送達する薬物送達コンポーネントまたはシステムを備えることができる。一実施形態では、この薬剤は、止血剤である。それとは別に、この薬剤は、ヒトを含む、動物に送達する送達可能な任意の組成物とすることができる。

【0082】

図10は、一実施形態による、薬剤送達システム142を有するロボット装置140を示す。この実施形態では、送達システム142は、円筒形本体144内に配置され、2つのホイール146が、この円筒形本体144上に回転可能なように配置される。装置140は、さらに、撮像コンポーネント(図に示されていない)も備えることができる。それとは別に、装置は、撮像コンポーネントを有している必要はない。

10

【0083】

図11Aは、一実施形態による、薬剤送達コンポーネント160を示す。この実施形態における送達コンポーネント160は、薬剤貯蔵および分注システムである。一実施形態では、この薬剤は、止血剤である。このシステムは、薬剤を入れておくことができる二重貯蔵容器162、混合および放出コンポーネント164、および作動コンポーネント166を有する。一実施形態によれば、混合および放出コンポーネント164は、2本の送達チューブ168、多岐管170、およびカニューレ172を有する。それとは別に、混合および放出コンポーネント164は、実際には、2つの独立したコンポーネントである、混合コンポーネントと放出コンポーネントである。一実施形態では、作動コンポーネント166は、クランク・ホイール174、キャッチ・レバー176、およびクランク・ホイール174を貯蔵容器162内に配置されているプランジャー180に連結するラチェット・リンケージ178を有する。

20

【0084】

一実施形態では、図11Aの二重貯蔵容器162は、2つの薬剤または薬剤成分を貯蔵し、分離するように構成される。一実施形態では、貯蔵容器162は、標準の二重シリンジ注入システムで使用されるものと類似している。一実施形態によれば、これら2つの成分は、止血剤の2つの別々の成分である。つまり、当該技術分野において理解されているように、多くの止血剤は、塗布する前に早く凝固してしまうのを防ぐために別々に保存されなければならない2つの成分からなる。この実施形態では、貯蔵および分注システムは、分注されるまで2つの成分を貯蔵し、分離しておくように構成された二重貯蔵容器を有する。それとは別に、薬剤は、他の成分と組み合わせる必要のない単一成分止血薬であり、その薬剤は、両方の貯蔵容器内に入れられる。さらに他の代替え実施形態では、このシステムは、他の薬剤と組み合わせる必要のない薬剤用の単一貯蔵容器または容器を有する。さらに他の代替え実施形態では、システムは、2つよりも多い貯蔵容器を有することもできる。

30

【0085】

図11Bは、図11Aとともに、作動コンポーネント166に関する追加の斜視図となっている。作動コンポーネント166は、事前に巻かれ、クランク・ホイール174に堅く取り付けられている予荷重ねじりバネ182を有する。それに加えて、一実施形態によるレバー176は、さらに、ねじりバネ184にも取り付けられる。レバー176が離されると、バネ182に蓄積されている機械的エネルギーが、クランク・ホイール174を回転させる。クランク・ホイール174へのラチェット・リンケージ178の中心外れ取付け点により、ホイール174の回転変位がプランジャー180の直線変位に変換される。

40

【0086】

一実施形態によれば、バネ仕掛けのキャッチ・レバー176は、形状記憶合金であり、SMAワイヤー・トリガーにより作動される。SMAワイヤーは、室温で容易に伸びるニッケル・チタン合金製である。しかし、電流が流されてワイヤーが加熱されると、ワイヤ

50

ーは長さが縮み、ワイヤーを伸ばすのに必要な力よりも大きな力を及ぼす。一実施形態では、ワイヤーは、長さを約8%まで縮め、ワイヤーを伸ばすのに必要な力の約5倍の力を及ぼす。

【0087】

アクチュエータ機構の他の代替実施形態は、図12に示されており、以下の実施例6においてさらに詳しく説明される。その機構では、カクチュエータとして永久磁石直流モーターを使用する。

【0088】

それとは別に、アクチュエータ機構は、薬剤を分注する貯蔵容器ブランジャー180の直線変位をもたらすための知られている装置とすることができる。一実施形態によれば、

10

【0089】

図13Aは、一実施形態による、混合コンポーネント200を示している。システム200は、多岐管202および2つの送達コンポーネントまたはチューブ204、205を備える。多岐管202の端部からは、流体流の1つを含み、大口径のカニユーレ208の内側に収まる配管206の長さ分が突き出ている。システム200は、混合部位210および放出部位212を有する。混合コンポーネントは、同時に単一カニユーレ内を通して少なくとも2つの流体成分を混合し、送達するための装置である。薬剤が、2つの化合物を必要とする止血剤である実装では、混合コンポーネントは、最適な凝固を促進するために必要に応じて2つの成分を完全に混合する。一実施形態では、混合システムは、2つの成分が出口近くで接触して効率的な混合を促進するようにし、またカニユーレの詰まりを防止するためにすべての反応物質が必ず排出されるようにする。

20

【0090】

図13Bは、図13Aの混合コンポーネント200内の薬剤の流れを示している。この実施形態では、2つの貯蔵容器(図に示されていない)内に含まれる流体は、送達チューブ204、205を通して多岐管202に同時に送達される。送達チューブ205内の流体流は、多岐管202から出て、カニユーレ208の長さ分を通して配管206の周りに強制的に送られる。流体は、放出部位212の近くの混合部位210内で混合し、反応物質が、放出部位212のところの大口径カニユーレ208から排出される。一実施形態によれば、混合が開始する地点、したがって、送達前に利用可能な時間は、配管およびカニユーレの口径と長さを変えらることにより調節されうる。さらに、らせんまたは他の特徴を、カニユーレ208の内面にそって組み込み、このシステムの混合効率を高めることができる。

30

【0091】

それとは別に、混合コンポーネントは、本明細書で説明されているロボット装置のうちの一つまたは複数により実装可能な、限定はしないが止血剤を含む2つの薬剤を混合するための知られているコンポーネントである。

【0092】

一態様によれば、その一つまたは複数の貯蔵容器は、薬剤または成分を貯蔵容器内に装填、注入、または他の何らかの形で入れることを可能にするように構成された少なくとも1つの外部アクセス可能な装填口を有する。装填口は、ワクチン・バイアルに通常使用される標準的なゴム製ストッパーおよびシールである。そのようなゴム製ストッパーおよびシールでは、標準のシリンジを使用して薬剤を移送しやすくする。それとは別に、装填口は、知られている構成の知られている任意の種類装填口である。一実施形態によれば、そのような装填口は、現場再構成など、使用するちょっと前に再構成されなければならない公知の薬剤に使用できる。そのようなものとして、一つまたは複数の装填口は、それらの化合物の現場装填が必要になったときに対応できる。

40

【0093】

一態様によれば、本明細書で説明されているロボット装置実施形態は、接続コンポーネントを介して外部コントローラに接続される。一実施形態によれば、接続コンポーネント

50

は、ワイヤー、コード、または他の物理的弾性カップリングである。本出願の目的に関して、物理的または「有線」接続コンポーネントは、「有索」または「テザー」とも称される。弾性接続コンポーネントは、ロボット装置の一端に連結され、柔軟であるか、しなりやすいか、または他の何らかの形で、異なる形状または構成に容易に形成またはマニピュレートされうるコンポーネントとすることができる。一実施形態によれば、接続コンポーネントは、1つまたは複数のワイヤーもしくはコードまたは外部ユニットまたは装置の第2の端部に動作可能なように連結されている他の種類のコンポーネントを含む。この実施形態のコンポーネントは、電力および/またはデータ、またはロボット・ユニットと外部ユニットまたは装置との間で装置の操作に必要なまたは有用な他の何かを伝送または伝達するように構成される。他の代替実施形態では、接続コンポーネントは、少なくとも2本のワイヤーまたはコード、または他のそのようなコンポーネントを備え、それぞれ別々の外部ユニット（一実施形態では、後述のように電源ならびにデータ伝送および受信機ユニットである）に接続される。

10

【0094】

それとは別に、接続コンポーネントは、無線接続コンポーネントである。つまり、ロボット装置は、コントローラまたは他の外部コンポーネントと無線で通信する。この無線接続は、本明細書では「無索」とも称される。「無索装置」または「無線装置」は、本出願の目的に関して、外科手術の少なくとも一部について、装置のどの部分も本体の外部にはないように本体内に完全に封じ込められている装置、またはそれとは別に、外科手術の少なくとも一部について、装置が外部物体に物理的に接続されていない間に本体内で動作する装置を意味することが意図されている。一実施形態では、無索ロボット装置は、装置を制御するために必要なデータを含む、データを無線で送信し、受信する。この実施形態では、ロボット装置は、無線接続のために受信機および送信機とともに、内部電源を有する。

20

【0095】

本明細書で説明されているように無線ロボット装置とともに使用される受信機および送信機は、任意の知られている受信機および送信機であってよい。例えば、知られている受信機および/または送信機は、遠隔操作車両施錠装置、遠隔制御装置、携帯電話で使用されている。

【0096】

一実施形態では、ロボット装置に伝送されるデータまたは情報は、さまざまなコンポーネントを移動したり、または他の何らかの形で操作したりするための信号など、装置を制御するためのユーザー・コマンド信号を含むことも可能である。一実施形態によれば、ロボット装置から外部コンポーネント/ユニットに伝送されるデータまたは情報は、撮像コンポーネントまたはセンサーから送られて来るデータを含むことが可能である。それとは別に、装置と外部コンポーネント/ユニットとの間で伝送されるデータまたは情報は、装置の操作で使用されうるデータまたは情報とすることができる。

30

【0097】

他の実施形態によれば、本明細書で説明されているロボット装置実施形態は、接続コンポーネントを介して、外部コントローラだけでなく、本明細書で説明されているか、または当該技術分野で他の何らかの形で知られているような装置などの、1つまたは複数の他のロボット装置にも接続される。つまり、一実施形態によれば、2つまたはそれ以上のロボット装置は、互いに、さらには、外部ユニットまたは装置に動作可能なように連結されうる。2つのロボット装置がある一実施形態によれば、2つの装置は、弾性接続コンポーネントにより互いに、また外部ユニットまたは装置に動作可能なように連結される。つまり、2つの装置は、それぞれの装置に連結されている弾性接続コンポーネントにより互いに動作可能なように連結され、それぞれの装置も、弾性接続コンポーネントにより外部ユニットまたは装置に動作可能なように連結される。一実施形態では、(1)2つのロボット装置を接続する接続コンポーネント、(2)それらのロボット装置の一方を外部ユニットに接続する接続コンポーネント、および(3)それらのロボット装置のうちの他方を外

40

50

部ユニットに接続する接続コンポーネントの3つの独立した弾性接続コンポーネントがある。それとは別に、1つの接続コンポーネントが、両方の装置および外部ユニットに動作可能なように連結される。さらなる代替実施形態では、2つのロボット装置を互いに、また外部ユニットに接続できるような構成において、任意の数の接続コンポーネントを使用できる。

【0098】

それとは別に、2つまたはそれ以上のロボット装置は、互いに、さらには、外部ユニットまたは装置に、無索式で、動作可能なように連結される。つまり、ロボット装置は、物理的に接続されない形で、互いに、また外部ユニットもしくは装置に動作可能なように連結される。一実施形態では、これらの装置および外部ユニットは、無線で動作可能なように連結される。

10

【0099】

一態様では、本明細書で説明されているロボット装置は、駆動コンポーネントを有する。本明細書で定義されているような「駆動コンポーネント」は、一方の場所から他方の場所にロボット装置を移動できるように推進力を供給する構成をとる任意のコンポーネントまたは本明細書で説明されているようなコンポーネントを含む、移動できるロボット装置の何らかのコンポーネントまたは部品である。駆動コンポーネントは、本明細書では「アクチュエータ」とも称される。一実施形態では、駆動コンポーネントは、モーターである。

【0100】

アクチュエータは、多数の異なるアクチュエータのうちから選択できる。例えば、本明細書で説明されているロボット装置のうちのすべてではないとしてもその多くに組み込むことができるアクチュエータの1つは、例えば、ギアヘッドPG04-337を持つモデル番号SBL04-0829（ナミキ・プレジジョン・オブ・カリフォルニア社（Namiiki Precision of California）[米国カリフォルニア州ベルモント（Belmont）所在]から市販されている）などのブラシレス直流モーターである。一実施形態によれば、このモーターは、メーカーにより供給される回路により一般的には形成される、外部接続を必要とする。他の実装では、このモーターは、これもまたナミキ社（Namiiki）から入手可能なギアヘッドPG02-337を持つモデル番号SBL02-06H1である。

20

30

【0101】

それとは別に、ブラシレス直流モーターはどのようなものでも使用できる。他の代替実施形態では、マニピュレーターなどのロボット装置のさまざまなコンポーネントを操作するために使用できる他のモーターは、マイクロモ（商標）エレクトロニクス・インコーポレイテッド社（MicroMo（商標）Electronics, inc.）[米国フロリダ州クリアウォーター（Clearwater）所在]により製造されている永久磁石DCモーターである。さらに他の代替実施形態では、知られている永久磁石DCモーターは、本明細書で説明されているロボット装置とともに使用されうる。

【0102】

モーターは、公称3Vで動作し、80rpmで10.6[mNm]のストール・トルクをもたらず。このモーターは、75度の坂に置かれているロボットに対し設計係数を4とする（滑るのを妨げる十分な摩擦力がある場合）。

40

【0103】

それに加えて、本明細書で説明されているロボット装置とともに使用できる他のアクチュエータは、形状記憶合金、圧電アクチュエータ、空気圧モーター、油圧モーターなどを含む。それとは別に、本明細書で説明されているロボット装置は、任意の種類の互換性のあるアクチュエータを使用できる。

【0104】

一実施形態によれば、アクチュエータは、「制御盤」とも呼ばれる、制御コンポーネントを備えることができる。制御盤は、分圧器を作った端子の間のモーター関係の速度を制

50

御するポテンシオメーターを備えることができる。一実施形態によれば、制御盤は、さらに、モーターの回転の方向を制御することもできる。

【0105】

一実施形態によれば、本明細書で説明されているようなロボット装置は、本明細書では「コントローラ」とも呼ばれる、外部制御コンポーネントを有することができる。つまり、本明細書の装置の少なくともいくつかは、動物またはヒトの外部にある場所に位置するコントローラにより操作される。

【0106】

一実施形態では、外部制御コンポーネントは、データを送信し、および/または受信する。一実施形態では、ユニットは、接続コンポーネントを介して電子操作命令などのデータを送信することによりロボット装置の動作を制御するように構成されているコントローラ・ユニットであり、接続コンポーネントは、有線または物理的コンポーネントまたは無線コンポーネントとすることができる。接続コンポーネントにより伝送されるか、または伝達されるデータは、さらに、限定はしないが、電子写真または生検データなどの装置により収集された電子データまたは装置により収集された他の種類のデータを含むこともできる。それとは別に、外部ユニットは、データを送信または受信するために使用されうるコンポーネント、装置、またはユニットである。

10

【0107】

一実施形態によれば、外部コンポーネントは、ジョイスティック・コントローラである。他の実施例では、外部コンポーネントは、タッチ・スクリーン、キーボード、ステアリング・ホイール、1つのボタンもしくはボタンの集まり、または他の知られている制御装置などの、ロボット装置を制御または操作するために使用できるコンポーネント、装置、またはユニットである。さらに、外部コンポーネントは、音声駆動コンポーネントなどの、音声により作動されるコントローラとすることもできる。さらに、コントローラは、市販品を購入するか、または新たに製作してもよく、またはロボット装置または本明細書で開示されているロボット装置コンポーネントを制御するために市販のコントローラをカスタマイズすることもできる。

20

【0108】

一実施形態では、コントローラは、プレイステーション(商標)デュアル・ショック(Playstation(商標)Dual-Shock)コントローラからの「サム・スティック」を含む。この実施例では、プレイステーション(商標)コントローラは、2つのアナログ・サムスティックを有し、それぞれ自由度2を持つ。これにより、手術者は、スティックを少し前方に押し、スティックを大きく前方に押すのと異なる出力を生じるように、XY座標平面内で有限量だけサム・スティックを移動することができる。つまり、サム・スティックは、対応する方向にスティックが押される量に基づき移動の速度を加減できるように速度制御を行う。

30

【0109】

一実施形態によれば、コントローラとロボット装置との間の接続は、独立のジョイスティックによりそれぞれのホイールが制御されるように構成される。

他の実施例では、コントローラは、オリジナルの任天堂ゲーム機の方向パッドと似た方向パッドである。このパッドは、+記号に似ており、4つの異なる方向を有する。

40

【0110】

使用時に、コントローラは、ロボット装置の移動を制御するために使用することができる。さらに、センサー・コンポーネント、マニピュレーター・コンポーネント、または他のそのようなコンポーネントなどの装置のコンポーネントの動作を制御するために使用することができる。例えば、コントローラの一実施形態は、ホイール、カメラのピント調整を制御し、さらに、パイオプシー・ツールを制御する。

【0111】

一実施形態によれば、制御コンポーネントは、さらに、ロボット装置の電源としても使用される。

50

一実施形態によれば、モバイル・ロボット装置は、画像表示コンポーネントに連結される。カメラからの信号は、任意の形式（例えば、NTSC、デジタル、PALなど）で画像表示コンポーネントに送信される。一実施形態によれば、この信号は、ビデオ信号または静止画像信号である。一実施形態では、画像表示コンポーネントは、手術者側で表示できるビデオ・ディスプレイである。それとは別に、画像表示コンポーネントは、静止画像ディスプレイである。さらなる代替実施形態では、画像表示コンポーネントは、ビデオおよび静止画像を表示する。一実施形態では、画像表示コンポーネントは、標準ビデオ・モニターである。当業者であれば、カメラから送られてくる信号を処理し、NTSC信号を表示するように構成されているテレビ、PAL信号を表示するように構成されているテレビ、コンピュータで使用する陰極線管モニター、LCDモニター、およびプラズマ・ディスプレイを含む、多くの異なる種類の表示装置向けの表示信号を発生することができることを理解するであろう。さらに他の実施形態では、画像表示コンポーネントは、本明細書で説明されているロボット装置のどれかとともに使用できるカメラにより取り込まれた画像を表示することができる公知の画像表示コンポーネントである。

10

【0112】

一実施形態では、画像表示コンポーネントは、コントローラの1コンポーネントである。

一実施形態による、本明細書で説明されているロボット装置は、電源または電力供給装置を有する。一実施形態によれば、電源は、ロボット装置の本体に一体化される。この実施形態では、電源は1つまたは複数の電池とすることができる。電池は、アルカリ電池、リチウム電池、ニッケル・カドミウム電池、または当該技術分野で知られている他の種類の電池とすることができる。

20

【0113】

それとは別に、電源は、患者身体の外部の場所に配置される。この実施形態では、電源およびロボット装置に動作可能なように連結されている接続コンポーネントは、電源とロボット装置との間で電力の伝送または伝達を行う。例えば、一実施形態による外部電源は、電池または他の電力源などの電源である。この実施例では、電力は、電力を伝達するように構成されている公知のワイヤーまたはコードである、接続コンポーネントを介して、電池からロボット装置に伝達され、ロボット装置のモーターを含む、ロボット装置に動力を供給する。一実施形態では、電源は、制御をコンポーネント内に一体として組み込まれるか、または制御コンポーネントに動作可能なように連結される。

30

【0114】

一実施形態によれば、電源は、上記のようにどのような電池であってもよい。それとは別に、電源は、磁気誘導、圧電、原子力、流体力学、太陽発電、または本明細書で説明されているロボット装置に動力を供給するために使用されうる他の知られている動力源とすることができる。

【0115】

固定ベース装置

本明細書で開示されているいくつかのロボット装置は、固定ベース・ロボットに関する。上記のように、「固定ベース・ロボット装置」は、推進輸送コンポーネントを持たないか、またはユーザーにより手動で位置決めされるロボット装置である。このような装置は、本明細書では「静止」ロボット装置とも呼ばれる。一実施形態では、固定ベース・ロボットは、カメラを有し、視覚的フィードバックを送るか、または標的領域の視覚的な概観をもたらすようにユーザーにより手動で位置決めされる。一実施形態による固定ベース・ロボット・カメラ装置は、遠隔制御カメラ・ロボットを用意し、外科手術時に視覚的フィードバックを送ることにより、腹腔鏡および他の外科手技の適用を容易にし、それにより切開および患者リスクを最小限に抑える。

40

【0116】

図14は、一実施形態による、ロボット撮像装置220を示す。装置220は、撮像コンポーネント224が中に配置されている本体222、焦点調節可能コンポーネント22

50

8、および開いているスペース（例えば、体腔）の内側において本体 2 2 2 を支持するための支持コンポーネント 2 3 4 を有する。一実施形態では、装置 2 2 0 は、さらに、照明用のライト・コンポーネント 2 2 6、ハンドル 2 3 2、およびパニングまたはチルティング・コンポーネント（後記）または焦点調節可能コンポーネント 2 2 8 などの装置 2 2 0 のさまざまなコンポーネントを制御するためのコントローラ 2 3 0 を含む。一実施形態によれば、装置 2 2 0 は、標準腹腔鏡ツールとともに使用できるサイズである。

【 0 1 1 7 】

一実施形態では、装置 2 2 0 は、容易に殺菌可能な生体適合材料から作られる。一実施形態によれば、これらの材料は、限定はしないが、殺菌可能プラスチックおよび/または金属を含むことができる。それとは別に、装置 2 2 0 は、外科手術で使用されうる材料から作ることができる。

10

【 0 1 1 8 】

本体 2 2 2 は、当該技術分野で現在知られている腹腔鏡ツールとともに使いやすいように、円筒形または球形などのさまざまな異なる構成をとることができる。しかし、他のコンポーネントの場合と同様に、本体 2 2 2 の構成は、本明細書で例示されている構成に限定されない。一般に、本体の形状に対する唯一の制約は、本体が本明細書で説明されているコンポーネントのうちの少なくとも 1 つを組み込むことができることである。

【 0 1 1 9 】

図 1 4 に示されているような一実施形態による、ハンドル 2 3 2 は、リングまたはループの形状に形成された引き込み式の、または他の何らかの形で移動可能なハンドル 2 3 2 である。それとは別に、ハンドルは、硬質または動かせないものであってもよい。さらなる代替実施形態では、ハンドル 2 3 2 は、装置 2 2 0 の位置変更またはマニピュレーションが容易に行えるような構成のコンポーネントである。他の態様では、ハンドル 2 3 2 を介して把持具または他の種類のツールが装置 2 2 0 に到達し、それにより患者体内の装置 2 2 0 の位置を変更したり、他の何らかの形でマニピュレーションを行ったりできるようにするハンドル 2 3 2 が備えられる。つまり、装置 2 2 0 は、ハンドル 2 3 2 を使用して位置変更され、これにより、撮像コンポーネント 2 2 4 の異なる視野を設定し、ユーザーに新しい視点を見せることができる。したがって、装置 2 2 0 が移動することで、撮像コンポーネント 2 2 4 は、導入切開による制約なしで、複数の異なる角度から外科手術領域の少なくとも一部の画像を撮ることができる。

20

30

【 0 1 2 0 】

一実施形態による、ライト・コンポーネント 2 2 6 は、「視野」とも呼ばれる、表示すべき領域に光を当てるように構成される。一実施形態では、ライト・コンポーネント 2 2 6 は、カメラのために一定または可変照明を行うように撮像コンポーネントの近くにある。それとは別に、ライト・コンポーネント 2 2 6 は、図 1 4 に示されているようにハンドル 2 3 2 に関連付けられている。このような実施形態では、光源 2 2 6 は、視野を照らすだけでなく、ハンドル 2 3 2 も照らし、したがって、ツールによりハンドル 2 3 2 を容易に捕捉したり、掴んだりできる。

【 0 1 2 1 】

一実施形態では、照明コンポーネント 2 2 6 は、LED ライトである。それとは別に、例示的な光源は、2 個の 5 mm の LED である。さらなる代替実施形態では、照明コンポーネント 2 2 6 は、任意の好適な照明光源とすることができる。

40

【 0 1 2 2 】

一実施形態では、図 1 4 に示されている撮像コンポーネント 2 2 4 は、カメラまたは他の撮像装置とすることができる。いくつかの実施形態では、撮像コンポーネントは、モバイル・ロボット装置に関して上で説明されているような撮像コンポーネントであってよい。とにかく、カメラは、本明細書で考えられている固定ベース・ロボット装置のどれかとともに使用されうる公知の撮像コンポーネントであってよい。一実施形態では、撮像コンポーネントは、3 次元画像を形成する立体カメラである。

【 0 1 2 3 】

50

撮像コンポーネントは、注目する領域（例えば、手術が実施される領域）の表示をユーザー向けに増大または改善するのに役立つ。一実施形態によれば、撮像コンポーネントでは、ユーザーはリアルタイム・ビデオを利用できる。それとは別に、撮像コンポーネントは、モバイル・ロボット装置に関して上で説明されているような撮像コンポーネントであってよい。

【 0 1 2 4 】

図 1 5 は、固定ベース・ロボット・カメラ装置 2 4 0 の他の実施形態を示す。装置 2 4 0 は、チルティング・コンポーネント 2 4 2 およびパニング・コンポーネント 2 4 4、2 4 6 を有する。パニング・コンポーネント 2 4 4、2 4 6 は、ベース 2 4 6 に取り付けられている小さな玉軸受構造 2 4 4 を有し、これにより、自由に回転できる。つまり、構造 2 4 4 は、ベース 2 4 6 に関して回転可能である。いくつかの実施形態では、パニングおよびチルティング・コンポーネントは、2 つの独立軸を中心とする回転を行うが、これにより、外科医は、外科手術の計画立案および手技のため腹腔のより綿密な視覚化を行うことができる。

10

【 0 1 2 5 】

一実施形態によれば、チルティング・コンポーネント 2 4 2 は、ピン（図に示されていない）を介して本体 2 4 8 に枢動可能に連結される。それとは別に、チルティング・コンポーネントは、標準ラチェット機構であるか、または当該技術分野で知られている他の種類の好適なコンポーネントとしてよい。一実施形態によれば、チルティング・コンポーネント 2 4 2 は、垂直から約 4 5 度上方に傾けられうる（つまり、約 9 0 度の範囲）。それとは別に、チルティング・コンポーネント 2 4 2 は、垂直に対し約 0 度から約 3 6 0 度までの範囲の量だけ傾けることができるか、またはチルティング・コンポーネント 2 4 2 は、3 6 0 度を超えて回転するように構成されうるか、または複数回、回転させることができる。図 2 に示されている実施形態などのいくつかの実施形態では、チルティング・コンポーネント 2 4 2 は、本体 2 4 8 に関連するが、ただし本体 2 4 8 とは独立している、分離しているコンポーネントである。それとは別に、チルティング・コンポーネントは、本体 2 4 8 内に、またはカメラ・コンポーネント 2 5 0 内に組み込まれる。

20

【 0 1 2 6 】

一実施形態による、パニング・コンポーネント 2 4 4、2 4 6 は、図 2 に関して上で説明されているように互いに関して回転する 2 つのコンポーネント 2 4 4、2 4 6 を有する。それとは別に、パニング・コンポーネントは、当該技術分野で知られている好適なコンポーネントとしてよい。一実施形態によれば、パニング・コンポーネント 2 4 4、2 4 6 は、3 6 0 度まで、および 3 6 0 度以上に装置をパンすることができる。それとは別に、パニング・コンポーネント 2 4 4、2 4 6 は、約 1 8 0 度から約 3 6 0 度までの範囲の量だけパニングすることが可能である。さらなる代替実施形態では、パニング・コンポーネント 2 4 4、2 4 6 は、約 0 度から約 3 6 0 度までの範囲の量だけパニングすることが可能である。図 2 に示されている実施形態などのいくつかの実施形態では、パニング・コンポーネント 2 4 4、2 4 6 は、本体 2 4 8 に関連するが、ただし本体 2 4 8 とは独立している、分離しているコンポーネントである。それとは別に、パニング・コンポーネントは、本体 2 4 8 内に、またはカメラ・コンポーネント 2 5 0 内に組み込まれる。

30

40

【 0 1 2 7 】

一態様では、本明細書で説明されている固定ベース・ロボット装置は、駆動コンポーネント（図に示されていない）を有する。いくつかの実施形態によれば、固定ベース・ロボット装置は、複数の駆動コンポーネントを備えることができる。例えば、一実施形態では、固定ベース・ロボット装置は、パニング・コンポーネントを作動させるためのモーターとチルティング・コンポーネントを作動させるための別のモーターとを有する。このようなモーターは、本体コンポーネントおよび/または支持コンポーネント内に収納されうる。一実施形態では、1 つまたは複数のアクチュエータは、マイクロモ（商標）エレクトロニクス・インコーポレイテッド社（MicroMo（商標）Electronics, Inc.）[米国フロリダ州クリアウォーター（Clearwater）所在]から市販さ

50

れている独立の永久磁石DCモーターである。他の好適なアクチュエータは、形状記憶合金、圧電アクチュエータ、空気圧モーター、油圧モーターなどを含む。それとは別に、駆動コンポーネントは、モバイル・ロボット装置に関して上で詳しく説明されているような駆動コンポーネントであってよい。他の代替実施形態では、パニングおよびチルティング・コンポーネントは、手動で作動させることができる。

【0128】

一実施形態では、アクチュエータは、送りネジ、歯車、またはプーリーなどの標準回転・直動カップリングに連結される。このような方法で、アクチュエータにより生み出される力は、回転・直動カップリングにより変換される。

【0129】

さらに、いくつかの実施形態における本体またはカメラが、左右運動（例えば、ヨー）が可能なものとすることができるとも考えられる。

固定ベース・ロボット装置のさまざまな実施形態は、焦点調節可能コンポーネントを有する。例えば、本明細書で説明されている固定ベース・ロボット装置のさまざまな実施形態に組み込むことができる焦点調節可能コンポーネント60の一実施形態は、図4に示されており、また上でも詳しく説明されている。それとは別に、さまざまな焦点調節可能手段または機構が、当該技術分野では知られており、撮像コンポーネントの焦点調節の能動的または受動的作動に適している。例えば、1設計例では、モーターと送りネジを使用する。モーターは、送りネジに取り付けられているターンテーブルを回す。はめ合いナットが撮像装置に取り付けられる。送りネジが回ると、撮像装置は、ロボットの本体に取り付けられているレンズに向かう方向に、また離れる方向に平行移動する。

【0130】

一実施形態によれば、撮像コンポーネントでは、レンズ・クリーニング・コンポーネントを有することができる。例えば、レンズ・クリーニング・コンポーネントは、標的環境の明瞭な視界を維持するために複数の層からなるワイパー・ブレードまたは犠牲膜とすることができる。他の実施形態では、レンズ・クリーニング・コンポーネントは、カメラ・レンズをクリーニングするための知られている機構またはコンポーネントとすることができる。

【0131】

図16に示されている実施形態などの、固定ベース・ロボット装置のいくつかの実施形態は、より小さなプロファイルに畳み込めるか、または他の何らかの形で再構成可能なように設計されている。例えば、一実施形態によれば、装置260は、動物の体内に挿入し、動物の体内から引っ込めるためにトロカール内に収まるように構成可能である。図に示されているような折り畳み位置では、ハンドル262は、装置260のロボット本体264と同軸である。空きスペース内に導入した後、ハンドル262は、手動で展開されるか、機械的に作動されるか、または本明細書に例示されているようにバネ仕掛けで動作し、これにより、90度下に回転して図1および2に示されているのと似た位置になる。一実施形態では、このような受動的作動は、回転軸のところでハンドルに取り付けられているトーション・スプリング（図に示されていない）により行われる。

【0132】

図16に示されているような、支持コンポーネント266は、折り畳み位置と動作または展開位置との間で移動可能な1つまたは複数の脚266の集まりである。例えば、図16では、折り畳み位置にある脚は、装置260の本体264と同軸である。支持コンポーネント266は、手動で、または機械的作動により、または本明細書に例示されているようなバネ仕掛け（例えば、トーション・スプリング）により展開され、これにより、90度上に回転して図1および2に示されているのと似た構成になる。一実施形態によれば、支持コンポーネントは、限定はしないが、脚、足、スキーまたはホイール、または患者体内の本明細書で説明されている構成の固定ベース・ロボット装置の位置決め、重量配分、および/または安定化を容易に行えるようにできる他のコンポーネントとすることができる。それとは別に、支持コンポーネントは、空きスペースの外部で磁石の位置決めをする

10

20

30

40

50

ことにより空きスペース内に装置を吊り下げられるように磁石を装備することができる。

【0133】

一態様によれば、本明細書で説明されている固定ベース・ロボット装置実施形態は、接続コンポーネントを介して外部コントローラに接続される。一実施形態によれば、接続コンポーネントは、モバイル・ロボット装置に関して上で説明されているような有線または弾性接続コンポーネント実施形態または構成である。それとは別に、接続コンポーネントは、モバイル・ロボット装置に関して上で説明されているような実施形態または構成による無線接続コンポーネントである。本明細書で説明されているように無線ロボット装置とともに使用される受信機および送信機は、上でも説明されているように、任意の公知である受信機および送信機であってよい。モバイル装置に関して上でさらに詳しく説明されている他の実装によれば、本明細書で説明されている固定ベース・ロボット装置実施形態は、（有線または無線）接続コンポーネントを介して、外部コントローラだけでなく、本明細書で説明されているか、または当該技術分野で他の何らかの形で知られているような装置などの、任意の種類または構成の1つまたは複数の他のロボット装置にも接続される。

10

【0134】

一実施形態では、ロボット装置に伝送されるデータまたは情報は、さまざまなコンポーネントを移動したり、または他の何らかの形で操作したりするための信号など、装置を制御するためのユーザー・コマンド信号を含むことも可能である。一実施形態によれば、ロボット装置から外部コンポーネント/ユニットに伝送されるデータまたは情報は、撮像コンポーネントまたはセンサーから送られて来るデータを含むことが可能である。それとは別に、装置と外部コンポーネント/ユニットとの間で伝送されるデータまたは情報は、装置の操作で使用されうるデータまたは情報とすることができる。

20

【0135】

一実施形態によれば、本明細書で説明されているような固定ベース・ロボット装置は、モバイル・ロボット装置に関して上で説明されているような実施形態による外部制御コンポーネントを有することができる。つまり、本明細書の固定ベース装置の少なくともいくつかは、動物またはヒトの外部にある場所に位置するコントローラにより操作される。一実施形態では、外部制御コンポーネントは、データを送信、および/または受信する。一実施形態では、ユニットは、接続コンポーネントを介して電子操作命令などのデータを送信することによりロボット装置の動作を制御するように構成されているコントローラ・ユニットであり、接続コンポーネントは、有線または物理的コンポーネントまたは無線コンポーネントとすることができる。それとは別に、外部ユニットは、データを送信または受信するために使用されうるコンポーネント、装置、またはユニットである。

30

【0136】

使用時に、コントローラは、カメラ・コンポーネント、センサー・コンポーネント、または他のコンポーネントなどの装置のコンポーネントの移動または動作を制御するために使用することができる。例えば、コントローラの一実施形態は、カメラのピント調整を制御し、さらに、装置のパニングおよび/または角度調節機能を制御する。

【0137】

一実施形態によれば、制御コンポーネントは、イメージ・センサー、パニング・コンポーネント、およびチルティング・コンポーネントの動作を制御するように構成されている。一実施形態では、制御コンポーネントは、例えば、画質調節などに関係する、イメージ・センサーへの動作命令を含む信号などの、それらのコンポーネントのそれぞれを制御することに関係する動作命令を含む信号を送信する。

40

【0138】

一実施形態によれば、制御コンポーネントは、さらに、ロボット装置の電源としても使用される。

一実施形態によれば、固定ベース・ロボット装置は、画像表示コンポーネントに連結される。画像表示コンポーネントは、モバイル・ロボット装置に関して上で説明されているような画像表示コンポーネントとすることができる。

50

【 0 1 3 9 】

一実施形態による、本明細書で説明されている固定ベース・ロボット装置は、電源または電力供給装置を有する。一実施形態によれば、電源は、モバイル・ロボット装置に関して上で説明されているような構成を有する電源である。さまざまな実施形態によれば、外部テザーまたは内部電源により、電力が供給される。装置が無線である（つまり、接続コンポーネントが無線である）場合、内部電源を使用できる。固定ベース・ロボット装置のさまざまな実装では、アルカリ電池、リチウム電池、ニッケル・カドミウム電池、または当該技術分野で知られている他の種類の電池を使用することができる。それとは別に、電源は、磁気誘導、圧電、流体力学、太陽発電、または他の知られている電源とすることができる。さらなる代替え実施形態では、電源は、患者体内に配置されている電源ユニット

10

【 0 1 4 0 】

一実施形態では、固定ベース・ロボット装置は、1つまたは複数のセンサー・コンポーネントを有する。さまざまな実施形態では、このようなセンサー・コンポーネントは、モバイル・ロボット装置に関して上で説明されているようなセンサー・コンポーネントのどれかを含む。

【 0 1 4 1 】

一実施形態によれば、本明細書で説明されているような固定ベース・ロボット装置上のこれらのコンポーネントはどれも、知られている市販のコンポーネントとすることができる。

20

【 0 1 4 2 】

使用時に、さまざまな外科手術において、固定ベース・ロボット装置を利用することができる。例えば、固定ベース装置を腹腔鏡外科手術ツールと組み合わせて使用することができ、その場合、装置は、腹腔鏡外科手術ツールのポートを通り抜けるように適合され、動物の体内画像を撮るために使用される。さらに他の実施形態では、体内画像を撮るために、装置全体が空きスペース内に導入される。

【 0 1 4 3 】

それとは別に、口腔外科手術および一般の歯科的処置において、特にアクセスしにくい場所の画像を得るために、固定ベース・ロボット装置が使用されうる。さらに、当業者であれば、本明細書に記載されている装置は、他の機能的な分野にも応用することができ、この装置は、工業用機器などのアクセスしにくい場所を表示するために使用できることを理解するであろう。例えば、装置は、多くの工業用ボロスコープの代わりに使用することが可能である。

30

【 0 1 4 4 】

磁氣的連結可能ロボット装置およびシステム

本明細書で開示されているいくつかのロボット装置は、磁氣的連結可能ロボット装置および関係するシステムに関するものである。上記のように、「磁氣的連結可能装置」は、少なくとも一部は患者体外に配置された磁石を介して位置決めされるか、操作されるか、または制御されうるロボット装置である。

40

【 0 1 4 5 】

図 1 7 A および 1 7 B は、一実施形態による、磁氣的連結可能ロボット・システム 3 0 0 を示している。システム 3 0 0 は、ロボット装置 3 0 2 および磁気ハンドル 3 0 4 を備える。図 1 7 B に最もよく示されているような一実施形態では、ロボット装置 3 0 2 は、患者の腹腔内に配置され、磁気ハンドル 3 0 4 が、患者の外部のある場所に配置される。ハンドル 3 0 4 は、磁力を介して腹膜（腹壁） 3 2 0 に当てて腹腔内に装置 3 0 2 を保持するように動作する。

【 0 1 4 6 】

一実施形態では、ロボット装置 3 0 2 は、それぞれ装置 3 0 2 の端部に配置されている 2 つの磁石 3 1 0、3 1 2 とともに、撮像コンポーネント 3 0 6 および照明コンポーネン

50

ト 3 0 8 を有する円筒形ロボット装置 3 0 2 である。一実施形態によれば、装置の磁石 3 1 0、3 1 2 は、装置 3 0 2 が体腔壁 3 2 0 に向けて押し付けられるようにハンドル 3 0 4 上の磁石 3 1 4、3 1 6 に磁氣的に連結される。一実施形態では、磁石 3 1 0、3 1 2 は、撮像コンポーネント 3 0 6 が体腔または注目する標的領域の表示を行えるような位置をとる構成である。それとは別に、ロボット装置は、本明細書で開示されているような公知のロボット装置であるか、または少なくとも一部は外部磁石により位置決め、操作、または制御されうる当該技術分野で他の何らかの形で知られているものとしてよい。

【 0 1 4 7 】

一実施形態による、撮像コンポーネント 3 0 6 は、単一のカメラである。それとは別に、撮像コンポーネント 3 0 6 は、立体映像を形成するために使用される複数のカメラとすることができる。

10

【 0 1 4 8 】

磁石 3 1 0、3 1 2 が、装置 3 0 2 内のどこか、または装置 3 0 2 上のどこかに位置決めされうることは理解される。装置 3 0 2 は、図 1 7 B に示されているように装置 3 0 2 のそれぞれの端部に配置されている 2 つの磁石 3 1 0、3 1 2 を備えることができることも理解される。これら 2 つの磁石 3 1 0、3 1 2 は、2 つの取付け点を備え、これにより、腹壁とのかなりの接触面積が確保され、したがって、外部磁石 3 0 4 への安定した取付けが可能になる。それとは別に、ロボット装置は、1 つまたは複数の磁石を備えることができる。

【 0 1 4 9 】

20

同様に、ハンドル 3 0 4 内の磁石 3 1 4、3 1 6 は、磁石が装置内の磁石と磁氣的に連結可能である限り、ハンドル 3 0 4 内の、またはハンドル 3 0 4 上の任意の場所に配置されうることも理解される。また、図 1 7 B に示されているようにハンドル 3 0 4 は、2 つの磁石 3 1 4、3 1 6 を有するか、またはハンドル 3 0 4 が、1 つの磁石、または 2 つよりも多い磁石を備えることができることも理解される。

【 0 1 5 0 】

一態様によれば、磁気ハンドル 3 0 4 は、本明細書では「外部磁石」とも呼ばれ、ハンドルの形状をしている。しかし、本明細書で使用されているような「磁気ハンドル」および/または「外部磁石」は、装置を位置決めしたり、操作したり、または制御したりするために磁性コンポーネントを使用できるように本明細書で説明されているようなロボット装置と磁氣的に連結可能な磁性コンポーネントを包含することを意図されていることは、理解される。

30

【 0 1 5 1 】

一実施形態では、ハンドル 3 0 4 は、矢印 3 1 8 により示されているように回転することができ、これにより撮像コンポーネント 3 0 6 の角度調節機能が実現される。つまり、撮像コンポーネント 3 0 6 は、「傾ける」ことができるが、これは、本出願の目的に関して、装置 3 0 2 の円筒の軸に垂直に移動することを意味するものとする。さらに、装置 3 0 2 は、以下でさらに詳しく説明されるように、矢印 3 2 2 により示されている撮像コンポーネント 3 0 6 の回転を介してパニング機能を備えることもできる。つまり、撮像コンポーネント 3 0 6 は、「パン」することができるが、これは、本出願の目的に関して、円筒の軸を中心として回転することを意味するものとする。

40

【 0 1 5 2 】

使用時に、ハンドル 3 0 4 は、体外でハンドル 3 0 4 を移動することにより腹部全体を横切る形で所望の位置に移動されうる。それとは別に、装置 3 0 2 は、動物体内のどこかに位置決めされ、少なくとも一部は、体外に位置する磁気ハンドル 3 0 4 により、位置決めされ、操作され、または制御されうる。一実施形態によれば、装置 3 0 2 は、さらに、一端が自由に打たれる場合に再付着しうる。一実施形態では、磁石 3 1 0、3 1 2 は、振動に抵抗するのに十分な、外部磁石による磁力を持つ。磁石を使用すると、腹部の外部でハンドル 3 0 4 を介して容易に調節することができ、また挿入後に壁に容易に取り付けられる。他の実施形態では、導入切開の近くで腹部に対しハンドル 3 0 4 を当てて、ハンド

50

ル 3 0 4 を内向きに押すことにより調節が行われる。磁石の対向極により、装置 3 0 2 は、腹壁まで持ち上げられる。

【 0 1 5 3 】

一実施形態では、装置 3 0 2 は、腹腔内に挿入されるサイズのものであり、行われている最中の外科手術または手技を邪魔しないように腹壁上に位置決めされうる。このような一実施形態では、撮像コンポーネント 3 0 6 は、外科手術の様子をユーザーに見せる。この実施形態の 1 変更形態では、装置 3 0 2 は、標準腹腔鏡ツールを通り抜けるサイズである。

【 0 1 5 4 】

図 1 8 は、一実施形態による、磁氣的連結可能ロボット・システム 3 4 0 の分解図を示している。システム 3 4 0 は、ロボット装置 3 4 2 a、3 4 2 b、および外部磁石 3 4 4 を備える。図 1 8 に示されているようなロボット装置 3 4 2 a、3 4 2 b は、内側部分 3 4 2 a と外側部分 3 4 2 b の 2 つの部分をもつ。一実施形態による、内側部分 3 4 2 a は、円筒形内側本体 3 4 2 a であり、外側部分 3 4 2 b は、内側本体 3 4 2 a 上に回転可能のように配置される構成をとる外側スリーブ 3 4 2 b である。装置 3 4 2 a、3 4 2 b は、さらに、2 つの磁石 3 4 6 ももつ。この実施形態では、磁石 3 4 6 は、装置 3 4 2 a、3 4 2 b のそれぞれの端部の終端部分 3 4 8 に配置される。磁石 3 4 6 は、磁気ハンドル 3 4 4 のそれぞれの端部内に配置されている磁石 3 5 0 と磁氣的に連結可能であるように構成され、このため、ハンドル 3 4 4 は、患者の体外の位置から使用することができ、体内に位置する装置 3 4 2 a、3 4 2 b を位置決めし、操作し、および / または制御することができる。

【 0 1 5 5 】

図 1 9 A および 1 9 B は、磁氣的連結可能ロボット装置の内側本体 3 6 0 の一実施形態を示している。図 1 9 A は、第 1 の部分 3 6 2 および第 2 の部分 3 6 4、焦点調節可能コンポーネント 3 6 6、レンズ 3 6 8、照明コンポーネント 3 7 0、作動コンポーネント 3 7 2、撮像コンポーネント 3 7 4、およびブッシング 3 7 6 を含む、本体 3 6 0 のさまざまなコンポーネントを示す略図である。一実施形態では、2 つの部分 3 6 2、3 6 4 は、半分に割ったもので、組立て時に組み合わせて接続可能でありチューブ状内側本体 3 6 0 を形成する。

【 0 1 5 6 】

一実施形態によれば、図 1 9 B に示されている本体 3 6 0 に類似の内側本体は、本体 3 6 0 上に回転可能のように配置されている図 1 8 に示されているスリーブ 3 4 2 b に似た外側スリーブをもつ。このような一実施形態では、撮像コンポーネント 3 7 4 およびレンズ 3 6 8 は、スリーブ 3 4 2 b に関して内側本体 3 6 0 を回転することによりパンされ、レンズ 3 6 8 は、図 1 7 B の矢印 3 2 2 により示されているのと同様に回転することができる。スリーブ 3 4 2 b に溝があるため、レンズ 3 6 8 または照明コンポーネント 3 7 0 を遮ることなく、スリーブ 3 4 2 b を本体 3 6 0 上に配置できる。一実施形態によれば、作動コンポーネント 3 7 2 は、外側スリーブ 3 4 2 b に関して内側本体 3 6 0 を回転させる力を生み出すモーター 3 7 2 である。一実施形態では、モーター 3 7 2 は、静止太陽歯車（図に示されていない）の周りを回る、遊星歯車（図に示されていない）を回す 6 m m のブラシ付きモーターであり、これにより、内側本体 3 6 0 は、外側スリーブ 3 4 2 b の内側で回転する。

【 0 1 5 7 】

一実施形態によれば、焦点調節可能機構 3 6 6 は、2 つの電線コイル（図に示されていない）とレンズ 3 6 8 の近くの 2 つの追加磁石（図に示されていない）により生成される磁界を含む。磁界内に置かれたコイルを通る電流は、レンズ 3 6 8 の位置を進めるために使用される力を発生する。一実施形態では、コイルからの力が取り除かれたときにレンズを静止位置に押し戻す復元力が与えられる。一実施形態によれば、復元力は、フォーム・コンポーネントによりもたらされる。それとは別に、復元力をもたらず公知である任意のコンポーネントを使用できる。

10

20

30

40

50

【 0 1 5 8 】

図 2 0 は、立体撮像機能を備える磁氣的連結可能ロボット装置 3 6 3 の代替え実施形態を示している。装置 3 6 3 は、2 つの撮像コンポーネント 3 6 5、装置 3 6 3 のそれぞれの端部に配置されている 2 つの磁石 3 6 7、およびそれぞれ撮像コンポーネント 3 6 5 のうちの 1 つと装置 3 6 3 の端部との間に配置される 2 つの照明コンポーネント 3 6 9 を有する。

【 0 1 5 9 】

図 2 1 は、磁氣的連結可能ロボット装置 3 8 0 の代替え実施形態を示している。一実施形態によれば、外側スリーブは、装置 3 8 0 の周りに配置されうる。それとは別に、スリーブが使用されない。一実施形態では、装置 3 8 0 は、上部 4 0 0 と底部 4 0 2 とを有する。上部 4 0 0 は、撮像コンポーネント 3 8 2、レンズ 3 8 4、および開口 3 8 8 内に位置決めされている鏡 3 8 6 を有する。一実施形態では、開口 3 8 8 は、透明カバー（図に示されていない）により覆われている。それとは別に、カバーはない。一実施形態による底部 4 0 2 は、装置 3 8 0 を回転させるために使用される歯車 3 9 6 および軸受 3 9 8 に動作可能なように連結されている少なくとも 1 つの作動コンポーネント 3 9 4 を含む。

【 0 1 6 0 】

レンズ 3 8 4 は、レンズ調節コンポーネント 3 9 0 に動作可能なように連結され、鏡 3 8 6 は、鏡調節コンポーネント 3 9 2 に動作可能なように連結される。光は、開口 3 8 8 に通され、鏡 3 8 6 から反射され、レンズ 3 8 4 を通して撮像コンポーネント 3 8 2 に到達する。この実施形態では、鏡 3 8 6 の角度を調節することで、他の何らかの形で装置 3 8 0 の角度調節をすることなく、さまざまな異なる角度から画像をキャプチャすることが可能になる。この実施形態では、鏡調節コンポーネント 3 9 2 は、ネジ棒を回して案内溝内でナットを上下させる動作をする 6 mm モーターを備える。ナットは、鏡の傾斜角を変えるように鏡に取り付けられる。それとは別に、鏡 3 8 6 の配置の調節を行う公知の機構を使用することができる。一実施形態では、調節可能鏡 3 8 6 により、装置 3 8 0 の周りの広い領域から画像をキャプチャすることができる。つまり、装置 3 8 0 は、比較的静止したままとすることができる。

【 0 1 6 1 】

一実施形態によれば、画像は、レンズ 3 8 4 を移動することによりピントが合わされる。この実施形態では、レンズ 3 8 4 の調節は、レンズ調節コンポーネント 3 9 0 により行われる。コンポーネント 3 9 0 は、レンズが堅くナットに固定されている場合に、案内溝内のナットを駆動するネジ棒に動作可能なように連結されている作動コンポーネントを有する。代替え実施形態によれば、焦点調節は、知られている焦点調節コンポーネントにより行われる。

【 0 1 6 2 】

一実施形態によれば、底部 4 0 2 は、作動コンポーネント 3 9 4 用の空洞を持つソリッド部分であり、他の実施形態によれば、レンズ調節モーターおよび鏡調節モーターである。

【 0 1 6 3 】

この実施形態では、装置 3 8 0 は、作動コンポーネント 3 9 4 を使用して装置 3 8 0 を回転させることにより撮像コンポーネント 3 8 2 のパニングを行い、さらに、上記のように鏡 3 8 6 の角度調節を行うことで角度調節機能を実現する。

【 0 1 6 4 】

それとは別に、磁氣的連結可能ロボット装置は、パニング機能を備える公知のコンポーネントおよび/または角度調節機能を備える公知のいるコンポーネントを有することができる。他の実施形態では、装置は、パニング機能も、および/または角度調節機能も有しない。他の実施形態では、装置は、パン・コンポーネントおよび傾斜コンポーネントの両方を有する。

【 0 1 6 5 】

図 2 2 A および 2 2 B は、磁氣的連結可能ロボット装置 4 2 0 の他の実施形態を示して

10

20

30

40

50

いる。装置 4 2 0 は、関節 4 2 6 を介してアーム 4 2 4 に連結されている円筒形ハウジング 4 2 2 を有する。装置 4 2 0 は、4 本のアーム 4 2 4 と 4 つの関節 4 2 6 を有する。それとは別に、装置 4 2 0 は、1 つまたは複数の関節 4 2 6 を介して円筒形ハウジング 4 2 2 に連結される 1 つまたは複数のアーム 4 2 4 を有する。

【 0 1 6 6 】

一実施形態では、円筒形ハウジング 4 2 2 は、撮像コンポーネント（図に示されていない）を有する。一実施形態によれば、撮像コンポーネントは、カメラである。それとは別に、撮像コンポーネントは、1 対の立体カメラである。

【 0 1 6 7 】

一実施形態による装置 4 2 0 は、関節 4 2 6 のそれぞれを作動させるためのアクチュエータ（図には示されていない）を有する。一実施形態では、装置 4 2 0 は、それぞれの関節 4 2 6 に対する別々のアクチュエータを有する。それとは別に、装置 4 2 0 は、1 つまたは複数のアクチュエータを有する。一実施形態では、それぞれのアクチュエータは、アーム 4 2 4 内に配置される。それとは別に、それぞれのアクチュエータは、装置 4 2 0 のどれかの部分内に配置される。

【 0 1 6 8 】

図 2 2 B は、直線構成の装置 3 8 0 を示している。つまり、装置 3 8 0 のコンポーネントは、装置 3 8 0 が、一般に、患者体内への挿入および取り外しを容易に行えるようにする直線チューブ形状になるように関節 4 2 6 を介して構成される。一実施形態では、装置 4 2 0 は、標準腹腔鏡外科手術ツール・ポート内に挿入し、すべての標準腹腔鏡ツールとともに使用することができる直径を有する。

【 0 1 6 9 】

一態様による装置 4 2 0 は、装置 4 2 0 に連結されている外部コントローラ（図には示されていない）を有する。コントローラは、有線接続コンポーネントを介して装置 4 2 0 に連結されうるか、または無線で連結されうる。いくつかの実施形態では、コントローラは、ロボット装置の他の実施形態に関して上で説明されているような任意のコントローラとすることができる。他の実施形態では、コントローラは、スイッチまたはボタンまたは他の種類の入力コンポーネントを使用してそれぞれの関節が別々に制御または作動される工業用ロボットで使用されるものと似たコントローラである（このようなコントローラのいくつかのバージョンは、当該技術分野では「ティーチ・ペンダント」とも呼ばれる）。それとは別に、コントローラは、上記のものと似たジョイスティック・コントローラである。

【 0 1 7 0 】

他の代替実施形態では、コントローラは、ロボット技術でふつうに使用されている「閉ループ」コントローラ・システムである。理解されているように、「閉ループ」コントローラ・システムは、特定の移動またはアクションに関する特定の命令をユーザーが与えることを可能にするコントローラを備え、さらに、装置が特定の移動またはアクションを完了することを確認するフィードバック・センサーを備えるシステムである。このシステムでは、特異性の高い命令またはコマンドおよび非常に精度の高いアクションを利用できる。例えば、図 2 2 A の実施形態では、ユーザーは、装置 4 2 0 が本体 4 2 2 に関して 3 0 ° の角度で右側アーム 4 2 4 の位置を決めることを指示する命令をコントローラに入力することができる。すると、右側アーム 4 2 4 は、アーム 4 2 4 が所望の角度に位置することをセンサーが感知するまで移動を続ける。フィードバック・センサーは、関節センサー、視覚センサー、または他の知られているフィードバック・センサーとすることができる。したがって、コントローラ・システムを使用すると、高精度の装置位置決め、軌道制御、および力制御を含む、装置の非常に特異性の高い、精度の高い制御を利用することが可能になる。次いで、一実施形態では、装置は、関節空間または直交座標空間内で正確に動作させることが可能である。さらに、知られているロボット・コントローラ技術は、本明細書で開示されているロボット装置のどれにも組み込むことができることは理解される。

【 0 1 7 1 】

10

20

30

40

50

さらに他の代替え実施形態では、コントローラは、装置コンポーネントそれ自体に似ている構成を有するコンポーネントである。例えば、図 2 3 A に示されている実施形態では、コントローラは、アーム 4 4 4 と似た運動学的構成をとることが可能であり、これによりコントローラは、類似の方法で装置 4 2 0 のアーム 4 4 4 をアクティブ化するために移動できる「肩関節」および「肘関節」を持つアームを有することになる。

【 0 1 7 2 】

コントローラは、装置 4 2 0 のコンポーネントをアクティブ化するために使用される。つまり、コントローラは、装置 4 2 0 を動作させるためにユーザーによって操作されうる。コントローラが、装置 4 2 0 のアクチュエータ（図に示されていない）に連結され、アーム 4 2 4 および関節 4 2 6、撮像コンポーネント、および装置 4 2 0 に動作可能なよう

10

【 0 1 7 3 】

使用する場合、ロボット装置 4 2 0 は、一実施形態による、開創器装置 4 2 0 である。装置 4 2 0 は、図 2 2 B の直線構成をとっていて、体内に完全に位置している間に患者体内に挿入することができる。一実施形態では、装置 4 2 0 は、標準腹腔鏡ポートを通して体内に挿入される。それとは別に、装置 4 2 0 は、本明細書の別のところでさらに詳しく説明されているように自然な開口部を通して挿入されうる。

【 0 1 7 4 】

一実施形態では、装置は、手術者によって制御され、これにより、撮像コンポーネントを介して、および/または患者体内での任意の種類の手術に対する作業補助機能を介して肉眼的組織マニピュレーション、立体映像、および視覚フィードバックを行う。つまり、装置 4 2 0 が、体内に配置された後、ユーザーは、外部コントローラを操作して、アクチュエータをアクティブ化し、アーム 4 2 4 を適切な構成にすることができる。一実施形態では、装置 4 2 0 は、組織および臓器の肉眼的マニピュレーションに使用され、これにより外科医を物理的に、または視覚的に妨げるものを引っ込める。この実施形態では、装置 4 2 0 のアーム 4 2 4 を使用して、外科医が必要な手術野に物理的に、また視覚的にアクセスできるように組織および臓器を抑えておくことができる。

20

【 0 1 7 5 】

一実施形態によれば、アーム 4 2 4 の位置決めまたは構成は、ユーザーがクランプ締め付けまたは手で保持することに頼る必要がないようにユーザーによる初期位置設定に従って維持されうる。それに加えて、アーム 4 2 4 の構成は、ユーザーによる手術全体にわたって遠隔調節できる。

30

【 0 1 7 6 】

代替え実施形態では、磁氣的連結可能装置は、追加のコンポーネントを有し、付加的な手術に使用されうる。つまり、装置は、アームまたは円筒形ハウジングに取り付けられた少なくとも 1 つの操作コンポーネントを備えることができる。図 2 3 A および 2 3 B は、2 つの操作コンポーネント 4 5 0、4 5 2 を有する磁氣的連結可能ロボット装置 4 4 0 の代替え実施形態を示している。装置 4 4 0 は、4 つの関節 4 4 6、4 4 8 を介して 4 つの

40

【 0 1 7 7 】

一実施形態では、鉗子 4 5 0 は、図 2 5 に示されている鉗子ツール 4 8 0 に似た、標準のハンドヘルド型腹腔鏡鉗子に似ている。このツール 4 8 0 は、一般的に、内側の軸 4 8 2（またはケーブル）が外側の鞘内に引き込まれる単純なレバーを使用して機能する。次いで、内側の軸 4 8 2 は、共通ピン 4 8 6 を中心として枢動する、対向する「顎」4 8 4

50

の両方を作動させる。一実施形態では、ツール４８０は、モーター軸上に取り付けられている送りネジ４８８とともに永久磁石直流モーターを備えることができる。送りネジ４８８は、送りナット４９０を出し入れして、内側の軸を移動し、対向する顎４８４を作動させる。それとは別に、モーターは、任意の作動コンポーネントとすることができる。さらに、他の実施形態において、鉗子は、本明細書で説明されている実施形態により、磁氣的連結可能ロボット装置に組み込むことができる公知の鉗子ツールとすることができる。

【０１７８】

一実施形態では、焼灼器４５２は、エー・シー・エム・アイ・コーポレーション社（ACMI Corporation）、メドトロニック社（Medtronic）、または他のメーカー数社により製造されているものなどの市販のハンドヘルド型使い捨て焼灼器ツールとすることができる。このような装置は、専用の先端からなり、多くの場合、２つの標準ＡＡ電池を電源として使用する。これらの装置は、一般に、３ボルトで動作し、約２Ａの電流を先端に通し、温度を約１２００（２２００°F）にする。これらの装置の先端は、脱着可能操作コンポーネントとして取り外し、取り付けが可能である。一実施形態では、この焼灼器ツールは、さらに、マイクロプロセッサにより制御され、電流を通すことができる、ダーリントン・トランジスタ・ペアを備える。それとは別に、焼灼器コンポーネント４５２は、本明細書で説明されている実施形態の磁氣的連結可能ロボット装置とともに使用できる公知のコンポーネントとすることができる。

【０１７９】

それとは別に、操作コンポーネントは、把持器または外科用メスであってもよい。他の実施形態では、操作コンポーネントは、本発明の磁氣的連結可能ロボット装置とともに使用することが可能なモバイル・ロボット装置実施形態に関して上で説明されているような操作コンポーネントとすることができる。例えば、操作コンポーネントは、解剖器、結紮器、ステープラー、超音波プローブ、吸引コンポーネント、灌注コンポーネント、またはどのような種類の医学的手技であっても使用することができるコンポーネントとすることができる。そのようなものとして、操作コンポーネントとともに本明細書で説明されているような磁氣的連結可能装置は、組織解剖、縫合、または本明細書で説明されているような磁氣的連結可能装置に連結されている操作コンポーネントにより実行可能な他の医学的手技などの手術において使用することが可能である。

【０１８０】

一実施形態では、円筒形本体４４２のそれぞれの端部に位置する図２３Ａに示されている関節は、「肩」関節４４６と呼ぶことができ、肩関節４４６に取り付けられているアームと終端アーム４４との間の関節４４８は、「肘」関節４４８である。一実施形態によれば、肩関節４４６および肘関節４４８は、異なる自由度を有する。例えば、一実施形態によれば、肩関節４４６は、自由度２を有し、肘関節４４８は、自由度１を有する。それとは別に、肩関節４４６および肘関節４４８のそれぞれは、同じ自由度を有していてもよい。それぞれの関節４４６、４４８に対する自由度は、約０度の自由度から約３６０度の自由度まで変化するか、またはそれとは別に、３６０度を超えて回転するように関節を構成することができるか、または関節は複数回、回転できる。

【０１８１】

図２３Ｂに示されているように、外部磁気ハンドル４５６は、ハンドル内の磁石４５８が装置４４０内の磁石（図には示されていない）と相互作用するような形で患者体外に配置され、これにより、装置４４０は、ハンドル４５６の方へ押しやられ、そうして、装置４４０とハンドル４５６との間にある腹壁の一部に押し当てられる。一実施形態では、装置４４０内の１つまたは複数の磁石は、円筒形本体４４２内に配置される。それとは別に、磁石は、ハンドルの磁石４５８と相互作用できるように装置４４０内、または装置４４０上のどこかに配置される。ハンドル４５６は、本体の外側部分を横切る形で移動され、ロボットの位置を決めることができる。これにより、ロボットの肉眼的位置決めを行い、しかも、一実施形態により、装置のアーム４４４を使用してより正確な移動を行うことができる。一実施形態では、磁氣的付着の力は、装置４４０の操作コンポーネントと外科手

10

20

30

40

50

術標的との間の相互作用により生じる反応力に対応できる十分な力である。

【0182】

一実施形態では、撮像コンポーネント454は、マイクロン・テクノロジー・インコーポレイテッド社(Micron Technology, Inc.) [米国アイダホ州ボイシ(Boise)所在]から市販されているCMOSセンサーを備える。このセンサーは、アクティブ・イメージ・エリアの面積が3.63mm×2.78mmである640×480ピクセルのアレイからなり、アナログ・カラーNTSCコンポジット・ビデオ信号を出力するオンボード信号処理回路を備える。このセンサーは、さらに、画質を最適化するために使用できる複数の設定を有する。それらの設定は、標準的なシリアル接続を介してプログラム可能であり、彩度、輝度、色調、ホワイト・バランス、露出、および利得を含む。センサー全体は、9mm×9mm×1.3mmのサイズであり、シングルエンデッド型2.5ボルト電源のみあればよく、約40mAの電流(100mW)を引き込む。それとは別に、公知のどのような撮像コンポーネントをも使用できる。他の実施形態によれば、それらの種類のセンサーにマッチする多数の複合レンズのうちの1つが広く利用可能である。それに加えて、装置440は、さらに、ボイス・コイル設計に基づき可変焦点機構を備えることもできる。それとは別に、公知のどのような可変焦点コンポーネントをも使用できる。

10

【0183】

一実施形態によれば、撮像コンポーネントは、装置420の動作に関係する視覚フィードバックを送ることができる。例えば、撮像コンポーネントは、アーム424の配置を決定し、および/または実施される外科手術に関する視覚フィードバックをユーザーに送るために使用することができる。つまり、ユーザーは、撮像コンポーネントからの視覚フィードバックを利用して、検査対象の組織の位置決め、または解剖または縫合などの、操作コンポーネントにより実行可能と思われる手技の実行を補助することが可能である。この種類の情報はすべて、アーム424の調節に使用され、組織引き込みまたは手術補助を行うための望ましい構成をとることができる。

20

【0184】

一態様では、図23Aおよび23Bで構成されているよう装置440は、標準の知られている腹腔鏡ツールを使用して腹腔鏡手術の「ルック・アンド・フィール」に近い感じを出す。公知のツールを使用する標準的手術では、外科医は、典型的には、カメラ装置用の切開部を形成し、カメラ装置切開部が、手術実行のため標準値ツールが挿入される切開部の間に位置決めされる。この位置決めにより、カメラは、カメラによりキャプチャされた(複数の)画像がユーザーまたは外科医にとって見やすい最良の視野を持つ。同様に、装置440は、アーム444の間に位置する、撮像コンポーネント454(図23Aに示されているような2つの立体カメラであってよい)を備え、これにより、標準腹腔鏡手術のときに得られるのと似た視野をもたらす。したがって、撮像腹腔鏡が2つの標準値ツールの間に置かれている標準値ツールを使用して標準的手術の構成および「ルック・アンド・フィール」を近似する。

30

【0185】

一実施形態では、それぞれのアクチュエータは、2つの6mmブラシ付きモーターと2つのバネを円筒形アーム424内に配置している。アクチュエータは、もっぱら2つの平面内で関節426を関節動作させる。この実施形態では、モーターの回転運動は、案内の中の送りネジと送りナットを使用して直線運動に変換される。それぞれのナットは、スイングまたはケーブルを介して関節426の片側に取り付けられる。モーターは、関節426のこのセグメントを引き、関節426を回転させる。関節426の反対側に取り付けられているバネは、1つの平面内での関節426の関節動作に対する復元力をもたらす。それとは別に、アクチュエータは、この装置420とともに使用されうる公知である任意の作動コンポーネントとしてよい。

40

【0186】

図24は、2つの操作コンポーネント468、469を有する磁氣的連結可能ロボット

50

装置 466 の他の代替実施形態を示している。装置 466 は、2つの関節 471 を介して 2本のアーム 470 に連結されているハウジング 467 を有する。それに加えて、ハウジング 467 は、この実施例では、1対の立体カメラ 472 である。撮像コンポーネント 472 を有し、さらに、ハウジング 467 内に埋め込まれるかまたは組み込まれる少なくとも 1つの磁性コンポーネント 473 を有する。

【0187】

アーム 470 は、ハウジング 467 に移動可能なように連結され、これによりアーム 470 を移動させることができる。より具体的には、図 24 に示されている実施形態では、アーム 470 は、矢印 476 により示されているようにある軸を中心として枢動することを可能にする蝶番 471 を介してハウジング 467 に連結される。それに加えて、この装置では、さらに、矢印 471 により示されているようにハウジング 467 の長さによって伸びる軸を中心としてアームを枢動または回転させることができる。さらに、知られているヒンジ、関節、回転可能コンポーネント、または他の連結コンポーネントを使用して、アーム 470 をハウジング 467 に連結し、アーム 470 がハウジング 467 に関して移動するようにすることが可能であることは理解されている。

10

【0188】

2つの操作コンポーネント 468、469 は、それぞれ、アーム 470 に連結されており、これによりそれぞれの操作コンポーネント 468、469 は、それぞれのアーム 470 に関して移動できる。より具体的には、この実施形態において、両方の操作コンポーネント 468、469 は、コンポーネント 468、469 のそれぞれが、矢印 474 に示されているようにアーム 470 の軸によって横方向に伸縮できるようにアーム 470 に移動可能な形で連結されている。さらに、コンポーネント 468、469 は、さらに、矢印 475 により示されているようにその軸を中心として回転することもできる。公知の関節、回転可能コンポーネント、または他の連結コンポーネントを使用して、コンポーネント 468、469 をアーム 470 に連結し、アーム・コンポーネント 468、469 がアーム 470 に関して移動できるようにすることが可能であることは理解されている。それに加えて、代替実施形態によれば、コンポーネント 468、469 は、アーム 470 に移動可能なように連結されている第 2 の 1組のアーム（図には示されていない）に連結され、この第 2 の 1組のアームは、横方向に（矢印 474）および/または回転しながら（矢印 475）移動できる。他の実施形態では、この第 2 の 1組のアームは、それぞれ、操作コンポーネントに動作可能なように連結されているその遠位端にシングル・モーションまたはマルチ・モーション関節を備えることができ、これにより操作コンポーネントは、第 2 の 1組のアームに関して移動できる。

20

30

【0189】

一態様による装置 466 は、撮像コンポーネント 472 の反対側のハウジング 467 の側面にあって平坦な表面（図には示されていない）を有する。装置 466 が、磁石コンポーネント 473 を介して、外部磁石に磁氣的に連結され、したがって前の実施形態において説明されているように空洞の内面に当たる形で位置する場合に、この平坦な表面は、図 24 に示されているように y 軸にそったハウジング 467 の回転を阻止する。

【0190】

一実施形態によれば、図 24 で構成されているような装置 466 は、公知である腹腔鏡ツールの「ルック・アンド・フィール」とそれらのツールの移動の両方を近似する。図 23A および 23B に関して上で説明されているように、装置 466 は、2本のアーム 470 の間の撮像コンポーネント 472 の構成により知られているツールの「ルック・アンド・フィール」を近似する。さらに、装置 466 は、アーム 470 に関して操作コンポーネント 468、469 の移動機能を介して知られているツールの移動を近似する。つまり、矢印 474 により示されているようなコンポーネント 468、469 の伸縮および矢印 475 により示されているようなコンポーネント 468、469 の回転は、それらの知られているツールの移動を近似し、したがって、ユーザーにとって馴染みのある移動機能を実現する。

40

50

【 0 1 9 1 】

他の実施形態による、代替えのアームまたはリンク 5 0 0 は、図 2 6 A および B に示されている。図 2 6 A に最もよく示されているように、リンク 5 0 0 は、モーター 5 0 6、さらにはナット 5 0 4 に動作可能なように連結されている送りネジ 5 0 2 を有する。図 2 6 A と組み合わせて図 2 6 B に最もよく示されているように、孔 5 0 5 を通してナット 5 0 4 に取り付けられ、一方の端部にあるプリー 5 1 0 を周り、回転可能関節コンポーネント 5 1 2 の一方の端部内の孔 5 1 1 にひも 5 0 8 の一方の端部のところで取り付けられ、さらに、回転可能関節コンポーネント 5 1 2 の他方の端部内の孔 5 1 3 にひも 5 0 8 の他方の端部のところで取り付けられているひもまたはケーブル 5 0 8 が備えられる。

【 0 1 9 2 】

この実施形態における送りネジ 5 0 2 およびナット 5 0 4 は、直線変換を行う。より具体的には、モーター 5 0 6 は、送りネジ 5 0 2 を回す動作をし、これによりナット 5 0 4 を直線運動させる。ナット 5 0 4 に取り付けられているひも 5 0 8 は、その結果移動し、これにより、関節コンポーネント 5 1 2 が回転し、その結果、関節コンポーネント 5 1 2 のところに接続されているリンク（図には示されていない）に関してリンク 5 0 0 を移動する（これにより、関節のところの肘角度を変更する）。

【 0 1 9 3 】

リンク 5 0 0 は、さらに、少なくとも部分的にモーター 5 0 6 を覆う位置にある 2 つのカバー・コンポーネント 5 1 6、5 1 8 の間に位置決めされた圧縮または引張バネ 5 1 4 を有する。バネ 5 1 4 は、2 つのコンポーネント 5 1 6、5 1 8 を互いに引き離すことによりひも 5 0 8 の張力を維持する動作をする。さらに、使用時に、バネ 5 1 4 は、装置の操作コンポーネントのリンク 5 0 0 および他のリンクが、患者体内に挿入されるときなどに曲げられるか、またはねじられると、ひも 5 0 8 の張力を緩和できるようにすることにより、何らかの受動的コンプライアンスを与える。張力を緩和することにより、リンクは互いに関して移動することができ、そのため、装置をある程度曲げ、ねじり、そうすることで、挿入をいくぶん容易にすることができる。

【 0 1 9 4 】

一実施形態によれば、磁氣的連結可能ロボット装置システムは、以下でさらに詳しく説明されているように自然開口部手術時に患者の胃の中にロボット装置を挿入するために使用される挿入コンポーネントを備えることができる。一態様では、挿入コンポーネントは、殺菌済みチューブ状コンポーネント（本明細書では「挿入オーバーチューブ」とも呼ばれる）である。標準的な上部内視鏡を使用して装置が体内に挿入される一実施形態では、オーバーチューブは、ロボット装置と内視鏡の両方についてサイズが決められる。

【 0 1 9 5 】

上で説明されている磁氣的連結可能ロボット装置実施形態はどれも、ライト・コンポーネントを備えることができる。例えば、一実施形態のライト・コンポーネントは、図 1 9 A および 1 9 B に示されているのと類似しているライト・コンポーネント 3 7 0 である。他の実施形態では、照明コンポーネントは、高輝度低電力発光ダイオード（LED）のレイである。例えば、一実施形態では、照明コンポーネントは、1 対の 1 0, 0 0 0 ミリキャンドルの LED である。一実施形態によるライト・コンポーネントは、視野を照らすように構成される。一実施形態では、ライト・コンポーネントは、カメラのために一定または可変照明を行うように撮像コンポーネントの近くにある。それとは別に、ライト・コンポーネントは、適切な照明が得られるのであればロボット装置のどこに配置してもよい。一実施形態では、照明コンポーネントは、LED ライトである。それとは別に、例示的な光源は、2 個の 5 mm の LED である。さらなる代替え実施形態では、照明コンポーネントは、任意の好適な照明光源とすることができる。

【 0 1 9 6 】

磁氣的連結可能ロボット装置とともに使用される撮像コンポーネントは、カメラまたは他の撮像装置とすることができる。いくつかの実施形態では、撮像コンポーネントは、モバイル・ロボット装置または固定ベース・ロボット装置に関して上で説明されているよう

10

20

30

40

50

な撮像コンポーネントであってよい。とにかく、カメラは、本明細書で考えられている磁氣的連結可能ロボット装置のどれかとともに使用されうる公知の撮像コンポーネントであってよい。一実施形態では、撮像コンポーネントは、3次元画像を形成する立体カメラである。

【0197】

撮像コンポーネントは、注目する領域（例えば、手術が実施される領域）の表示をユーザー向けに増大または改善するのに役立つ。一実施形態によれば、撮像コンポーネントでは、ユーザーはリアルタイム・ビデオを利用できる。それとは別に、撮像コンポーネントは、モバイル・ロボット装置または固定ベース・ロボット装置に関して上で説明されているような撮像コンポーネントであってよい。

10

【0198】

一態様では、磁氣的連結可能ロボット装置に関して本明細書で説明されている少なくとも1つの作動コンポーネントは、永久磁石DCモーター、形状記憶合金、圧電アクチュエータ、空気圧モーター、油圧モーターなどとすることができる。それとは別に、駆動コンポーネントは、モバイル・ロボット装置または固定ベース・ロボット装置に関して上で詳しく説明されているような駆動コンポーネントであってよい。

【0199】

磁氣的連結可能ロボット装置のさまざまな実施形態は、焦点調節可能コンポーネントを有し、その一部については上で説明されている。さまざまな焦点調節可能コンポーネントまたは機構が、当該技術分野では公知であり、撮像コンポーネントの焦点調節の能動的または受動的作動に適している。それとは別に、焦点調節可能コンポーネントは、モバイル・ロボット装置または固定ベース・ロボット装置に関して上で詳しく説明されているような焦点コンポーネントであってよい。

20

【0200】

一態様によれば、本明細書で説明されている磁氣的連結可能ロボット装置実施形態は、接続コンポーネントを介して外部コントローラに接続される。一実施形態では、接続コンポーネントは、2つのビデオ信号、電力、および動作信号をコントローラから伝送するように構成されている7線ケーブルである有線接続コンポーネントである。この実施形態では、装置は、さらに、受信動作信号をデコードし、コマンドを装置コンポーネントに送るマイクロプロセッサを備えることもできる。例えば、マイクロプロセッサは、最高速度のオンボードUSBインターフェースを備える8ビット埋め込みマイクロプロセッサ（例えば、アットメル・コーポレーション社（Atmel Corporation）[米国カリフォルニア州サンノゼ（San Jose）所在]の80C5X2 Coreなど）とすることができる。インターフェースは、コントローラから入力コマンドを受信し、プロセッサは、モーター・ドライバー、焦点機構、カメラ設定などのコンポーネント回路と相互作用する34本のデジタルI/Oピンを有する。それとは別に、マイクロプロセッサは、本明細書で説明されているようなロボット装置に使用されうる公知である任意のマイクロプロセッサとしてよい。

30

【0201】

それとは別に、接続コンポーネントは、モバイル・ロボット装置または固定ベース・ロボット装置に関して上で説明されているような有線または弾性接続コンポーネント実施形態または構成である。さらなる代替実施形態において、接続コンポーネントは、モバイル・ロボット装置または固定ベース・ロボット装置に関して上で説明されているような実施形態または構成による無線接続コンポーネントである。本明細書で説明されているように無線ロボット装置とともに使用される受信機および送信機は、上でも説明されているように、任意の知られている受信機および送信機であってよい。モバイル装置および固定ベース装置に関して上でさらに詳しく説明されている他の実装によれば、本明細書で説明されている磁氣的連結可能ロボット装置実施形態は、（有線または無線）接続コンポーネントを介して、外部コントローラだけでなく、本明細書で説明されているか、または当該技術分野で他の何らかの形で公知である装置などの、任意の種類または構成の1つまたは複

40

50

数の他のロボット装置にも接続される。

【0202】

一実施形態では、磁氣的連結可能ロボット装置に伝送されるデータまたは情報は、さまざまなコンポーネントを移動したり、または他の何らかの形で操作したりするための信号など、装置を制御するためのユーザー・コマンド信号を含むことも可能である。一実施形態によれば、ロボット装置から外部コンポーネント/ユニットに伝送されるデータまたは情報は、撮像コンポーネントまたはセンサーから送られて来るデータを含むことが可能である。それとは別に、装置と外部コンポーネント/ユニットとの間で伝送されるデータまたは情報は、装置の操作で使用されうるデータまたは情報とすることができる。

【0203】

一実施形態によれば、本明細書で説明されているような磁氣的連結可能ロボット装置は、モバイル・ロボット装置または固定ベース・ロボット装置に関して上で説明されているような実施形態による外部制御コンポーネントを有することができる。つまり、本明細書の磁氣的連結可能装置の少なくともいくつかは、外部磁石だけでなく、動物またはヒトの外部にある場所に位置するコントローラによっても操作される。一実施形態では、外部制御コンポーネントは、データを送信し、および/または受信する。一実施形態では、ユニットは、接続コンポーネントを介して電子操作命令などのデータを送信することによりロボット装置の動作を制御するように構成されているコントローラ・ユニットであり、接続コンポーネントは、有線または物理的コンポーネントまたは無線コンポーネントとすることができる。それとは別に、外部ユニットは、データを送信または受信するために使用されうるコンポーネント、装置、またはユニットである。

【0204】

磁氣的連結可能ロボット装置が図22A、23A、25、および26で示されている実施形態に類似するアームおよび関節を有する一実施形態では、コントローラは、ロボット装置と同じまたは類似の運動学的構成を有するマスター・コントローラであり、これにより、ユーザーは、マスター上のアームおよび関節を移動し、装置がマスター・コントローラの新しい構成を反映するようにロボット装置に信号が送信される。コントローラは、さらに、ユーザーが装置の構成を表示し、その情報を利用して、装置の適切な構成および動作を決定できるような画像ディスプレイも備える。

【0205】

使用時に、コントローラは、カメラ・コンポーネント、センサー・コンポーネント、または他のコンポーネントなどの装置のコンポーネントの移動または動作を制御するために使用することができる。例えば、コントローラの一実施形態は、カメラのピント調整を制御し、さらに、装置のパニングおよび/または角度調節機能を制御する。

【0206】

一実施形態によれば、制御コンポーネントは、図19に示されている装置380などのロボット装置の撮像コンポーネント、パニング・コンポーネント、およびチルティング・コンポーネントの動作を制御するように構成されている。一実施形態では、制御コンポーネントは、例えば、画質調節などに関係する、撮像コンポーネントへの動作命令を含む信号などの、それらのコンポーネントのそれぞれを制御することに関係する動作命令を含む信号を送信する。

【0207】

一実施形態によれば、制御コンポーネントは、さらに、ロボット装置の電源としても使用される。

一実施形態によれば、磁氣的連結可能ロボット装置は、画像表示コンポーネントに連結される。一実施形態では、画像表示コンポーネントは、コントローラの1コンポーネントである。一実施形態では、画像表示コンポーネントは、市販の立体3D画像表示システムである。このようなシステムでは、2つのビデオ・センサーからの画像を使用し、それらの画像を3D効果を生み出すような方法で表示する。例えば、画像表示コンポーネントは、Sharp LL-151-3Dコンピュータ・モニターとすることができる。それと

10

20

30

40

50

は別に、画像表示コンポーネントは、例えば、リアル・ディー社 (R e a l D) [米国カリフォルニア州ビバリーヒルズ (B e v e r l y H i l l s) 所在] が市販している C r y s t a l E y e s 3 (商標) などの、2つのセンサーからの画像を高速度で切り替える、特殊な無線メガネである。それとは別に、画像表示コンポーネントは、モバイル・ロボット装置または固定ベース・ロボット装置に関して上で説明されているような画像表示コンポーネントとすることができる。

【 0 2 0 8 】

一実施形態による、本明細書で説明されているような磁氣的連結可能ロボット装置は、電源または電力供給装置を有する。一実施形態によれば、電源は、モバイル・ロボット装置または固定ベース・ロボット装置に関して上で説明されているような構成を有する電源である。さまざまな実施形態によれば、外部テザーまたは内部電源により、電力が供給される。装置が無線である(つまり、接続コンポーネントが無線である)場合、内部電源を使用できる。磁氣的連結可能ロボット装置のさまざまな実装では、アルカリ電池、リチウム電池、ニッケル・カドミウム電池、または当該技術分野で知られている他の種類の電池を使用することができる。それとは別に、電源は、磁気誘導、圧電、流体力学、太陽発電、または他の知られている電源とすることができる。さらなる代替え実施形態では、電源は、患者体内に配置されている電源ユニットである。この実施形態では、電源ユニットは、電力を1つまたは複数のロボット・カメラ装置にだけでなく、他の外科手術用ロボット装置にも供給するために使用できる。

【 0 2 0 9 】

一実施形態では、磁氣的連結可能ロボット装置は、1つまたは複数のセンサー・コンポーネントを有する。さまざまな実施形態では、このようなセンサー・コンポーネントは、モバイル・ロボット装置または固定ベース・ロボット装置に関して上で説明されているようなセンサー・コンポーネントのどれかを含む。

【 0 2 1 0 】

一実施形態によれば、本明細書で説明されているような磁氣的連結可能ロボット装置上のこれらのコンポーネントはどれも、知られている市販のコンポーネントとすることができる。

【 0 2 1 1 】

上記の実施形態は、磁氣的連結コンポーネントを備えていたけれども、他のアタッチメント・コンポーネントまたは装置を使用することで、上で開示されている、または明細書全体を通して開示されている装置実施形態のどれかを患者の体内部分に取り外し可能な形で取り付けることができることは理解される。例えば、アタッチメント・コンポーネントは、クリップ、ピン、クランプ、または患者の内面にそって取付けまたは位置決めを行う他のコンポーネントとすることも可能である。

【 0 2 1 2 】

さらに、ロボット装置の特定の実施形態に関して本明細書で開示されているコンポーネントはどれも、本明細書で開示されている他のロボット装置実施形態に組み込むことができることも意図されていることは理解される。例えば、磁氣的連結可能ロボット装置実施形態に関して開示されているコンポーネントも、本明細書で説明されているようにモバイル・ロボット装置または固定ベース・ロボット装置のどれかの実施形態に組み込むことができる。

【 0 2 1 3 】

ロボット装置を使用する方法

本明細書で説明されているロボット装置は、患者の体内で装置が使用されるさまざまな異なる外科手技または手術において使用されうる。つまり、ロボット装置は、外科的作業または手術を実施し、および/またはユーザーに視覚フィードバックを送るために患者体内で使用されうる。

【 0 2 1 4 】

一実施形態によれば、上記のモバイル装置はどれも、患者体内に丸ごと挿入することが

10

20

30

40

50

でき、また患者は、ヒトを含む、動物とすることができる。公知の腹腔鏡手術では、小切開を使用することで、患者の外傷が低減されるが、その反面、外科的環境に対する外科医の観察および直に触れる活動能力が制限され、そのため、感覚フィードバックが不足し、撮像が制限され、機動性と任意姿勢可動性が制限される。それとは対照的に、体内でさまざまなロボット装置を使用する本明細書で説明されている方法では、視覚および外科手技を補うことができ、および/または外科手術を実行することができ、しかもロボット装置が導入切開により制約されない。

【0215】

一実施形態では、上記の装置はどれも、腹腔鏡などの、低侵襲手術において腹腔内部で使用できる。これらの装置のいくつかは、標準腹腔鏡ツールを通り抜けるようなサイズおよび構成をとる。一実施形態によれば、1つの標準腹腔鏡ポートを通して挿入されたロボット装置を使用することで、標準腹腔鏡手術に必要な第2のポートが必要なくなる。

10

【0216】

一実施形態によれば、カメラを備える本明細書で説明されているようなロボット装置では、トレーサーの挿入およびツールの配置を計画するだけでなく、手術者が外科的環境をより容易に、また完全に探索し、理解できるように補助する追加の視覚的手掛かりを与えることを可能にしうる。公知の腹腔鏡では、小切開部に挿入された、視野が制限されている硬質の単一視点カメラを使用する。この従来技術の装置を使用した新しい遠近法を利用するには、他の切開部におけるカメラの取り出しおよび再挿入を必要とすることが多く、患者の危険性が高まる。対照的に、本明細書で説明されているようなカメラを備えるロボット装置では、1つまたは複数のロボットを腹腔内に入れることで、追加の腔内画像を撮り、視野を簡単に調節することができるため、外科医の外科手術領域に対する幾何学的理解が改善される。カメラの位置を素早く任意の場所に変更できるので、外科医は他のツールに関する最適な向きを維持しやすい。

20

【0217】

一実施形態によれば、本明細書で説明されているモバイル・ロボット装置はどれも、病院などの従来の外科的環境だけでなく、戦場などの前線環境においても使用できる。

他の実施形態によれば、本明細書で説明されているロボット装置はどれも、自然開口部手術で使用できる。本明細書で使用されているような「自然開口部外科手術」は、身体の標的部分が、外科手術または診査目的で、口、肛門、膣、尿道、耳、または鼻腔などの自然開口部、または他の自然開口部を通してアクセスされる手術である。

30

【0218】

本出願の目的に関して、臍は、自然開口部であるとみなされる。より具体的には、臍は、外科手術または診査手技において使用するために開通され、その後、再び閉じて治癒させることができる自然開口部である。

【0219】

一実施形態による、自然開口部外科手術は、適切な医療装置を口から体内に挿入し、胃壁内の切開を介して腹腔内に貫通することにより実施されうるが、これは「経胃的」外科手術とも呼ばれる。一実施形態では、標準内視鏡ツールを使用して胃切開部（胃壁内の孔）が形成される。それとは別に、胃切開部は、ロボット装置のうちの1つを使用して形成される。

40

【0220】

このような外科手術の利点の1つは、皮膚切開が必要なく、また術後疼痛および/または不快症状が緩和されることである。胃腔を通しての自然開口部外科手術の他の利点は、胃の実質的な殺菌状態にあり、これにより、感染の危険性が少なくなる。他の利点は、胃の速やかな治癒という特性である。つまり、胃切開部は、腹壁に形成された切開部に比べて速く治癒する。自然開口部外科手術では、皮膚切開の必要がなく、術後疼痛および不快症状が緩和される。このようなアプローチは、ツールおよびカメラのために複数の導入切開が必要な従来の腹腔鏡に比べて際だった利点を有する。したがって、自然開口部を通してアクセスすると、外部切開が必要なくなり、これにより、創傷感染の発症を回避しつつ

50

、疼痛を低減し、化粧を改善し、回復を早め、癒着および腸閉塞を低減する。さらに、自然開口部手術では、初めて、腹壁の厚さのせいで腹腔鏡を使えない肥満患者に対し侵襲の少ない技術を使用することが可能になる。

【0221】

一実施形態による、図27は自然開口部外科手技540を示している。ロボット装置は、ヒトの患者の口を通し、また胃壁の切開部を通し、送気された腹腔内に挿入される。この実施形態では、有線接続コンポーネントは、装置に連結される。それとは別に、装置は無線である。

【0222】

一態様によれば、自然開口部外科手術を実施する方法は、無索ロボット装置を使用して手術を実施することを含む。それとは別に、この方法は、弾性接続コンポーネントで繋留されたロボット装置を使って自然開口部外科手術を実施する方法に関する。装置は、本明細書で開示されているロボット装置のどれかとしてよい。それとは別に、装置は、外科手術または診査を目的とする身体の内自然開口部に挿入されうるロボット装置とすることができる。さらなる代替実施形態では、装置は、外科手術または診査目的で自然開口部に挿入されうるロボット装置である限り知られている形態または構造をとることができる。

10

【0223】

他の実施形態によれば、本明細書で開示されているロボット装置の1つは、本明細書で開示されている装置のどれかを含む、1つまたは複数の他のロボット装置とともに使用できる。つまり、本明細書で開示されているロボット装置は、外科手術を実行するために、一緒に、および/または他の知られているロボット装置と組み合わせて使用できるロボット装置群である。つまり、ロボット装置の任意の組合せを患者体内に配置し、外科手術を連携実行することができる。

20

【0224】

一実施形態では、2つまたはそれ以上のロボット装置は、無索方式で連結されているか、有線接続コンポーネントを介して連結されているかに関係なく、連携して、または順次、またはロボット装置が複数あることが有利である手術における他の方式で操作されうる。他の実施形態では、さまざまなセンサーおよびマニピュレーターを備える複数のモバイル装置、固定ベース装置、および/または磁気的連結可能装置が、単一切開部を通して患者体内に挿入される低コスト・ロボット外科手術「チーム」として連携使用される。この装置群は、ユーザーに遠隔制御されながら、手術全体を実行することができる。

30

【0225】

一実施形態により、複数のロボット装置が連携使用される一実施形態は、図28に示されており、これは、上記のと似たモバイル・ロボット装置およびda Vinci(商標)システムと連携して使用される上記のものと似た磁気的連結可能ロボット・カメラ装置を示している。上部腹膜壁に当てられているロボット・カメラ装置は、モバイル・ロボット装置およびda Vinci(商標)ツールにより実行される手術の画像をキャプチャするために使用されうる。

【0226】

さらに、手術者が複数の視角から改善された視覚フィードバックを得られるように、複数のロボット・カメラ装置を同時に使用することができると考えられる。同様に、1つまたは複数のロボット・カメラ装置を1つまたは複数の外科手術ロボットと併用することもできる。

40

【0227】

他の実施形態では、すべての無線ロボットの数および配置が手術全体にわたって文書に記載できるように、外科手術中に方法を実施できる。

一実施形態によれば、この連携手技は、自然開口部手技と組み合わせることができる。つまり、それぞれさまざまな異なる機能を有する複数のロボットを、自然開口部を通して患者体内に挿入することが可能である。この方法では、複数のロボットを無関係に開口部

50

に挿入することができ、これにより、外科手術時に患者体内に外科手術「チーム」を置くことができる。一実施形態では、現行の方法により、破棄された組織（胆嚢など）を取り除き、専用ツール（焼灼など）を挿入するため、食道内に十分な空き領域を形成することができる。

【0228】

他の実施形態は、ロボット装置を（1）標準腹腔鏡ツール、（2）da Vinci（登録商標）システム、および/または（2）少なくとも1つの他のロボット装置と連携使用するための方法、システム、および装置に関するものであり、上記の、または上で参照されている装置、またはそれらの装置の組合せを含む。

【0229】

一実施形態では、ロボット・カメラ装置は、標準腹腔鏡と併用され、これにより、外科医は、例えば、腹部の特徴の後部視点などの補助視点を得られる。他の実施形態では、ロボット・カメラ装置を単独で使用し、ツール・ポートに挿入することにより患者の外傷を減らすことができる。他の実施形態では、ロボット・カメラ装置は、低侵襲性腹部外科手術用の1つまたは複数のカメラとして使用され、この1つまたは複数のカメラは、体腔内の任意に位置に移動することができ、腹腔鏡が不要になる。これは、腹壁の切開部は3つも必要なく2つでよく、患者の外傷および合併症の危険性が減じる。

【0230】

一実施形態によれば、本明細書で開示されているロボット装置は、da Vinci（登録商標）ツールと連携し、これにより、da Vinci（登録商標）に補助視点を補い、外科医への視覚フィードバックを改善する。複数のロボット装置のうちの1つまたは複数は、腹腔内に丸ごと入れられ、したがって、導入切開による制約はない。

【0231】

一実施形態では、外科手術時に2つのロボット装置をda Vinci（登録商標）システムと連携使用することができる。第1の装置は、磁石を使用して腹壁に取り付けられている磁氣的連結可能パン・アンド・チルト・ロボット・カメラ装置である。第2は、カメラを備えるホイール付きモバイル・ロボット装置である。パン・アンド・チルト装置は、外科手術標的の上からの様子を表示し、モバイル装置は、低い視点からの様子を表示する。これら両方の装置の視点は、手術全体を通して容易に変更可能である。一実施形態では、これらの装置からのビデオは、da Vinci（登録商標）コンソールに直接送られ、外科医の選択により、立体視システムで1つの画像として表示されうる。他の実施形態では、装置は両方とも、外科手術全体を通して位置変更され、これにより、他の方法だと新しい切開を必要とし、da Vinci（登録商標）ツールの位置変更にかかる時間が費やされるであろう視点を獲得することができる。一実施形態では、ロボット装置は、別のジョイスティックを介して外科医により制御される。

【0232】

一実施形態では、da Vinci（登録商標）システムは、通常の手順に従って位置決めされる。2つのツール・ポートおよび腹腔鏡用に腹壁に3つの小切開部が形成される。装置の電線テザーを使用できるロボット装置を挿入するために、特殊な、わずかに大きい、トロカールが使用される。それとは別に、ロボット装置は無線である。次いで、残りのトロカールが配置され、腹部に送気される。次いで、da Vinci（登録商標）ツールおよび腹腔鏡が挿入され、外科手術の準備がなされる。次いで、ロボット装置が給電され、腹部の外にある磁石ホルダーを使用してパン/チルト装置が臓器から腹壁の上面へ持ち上げられる。ロボット装置は、カメラ、da Vinci（登録商標）ツール、または腹腔鏡を使用して位置決めされうる。ロボット装置が、適宜位置決めされると、da Vinci（登録商標）のビデオ入力は、標準腹腔鏡から吊り下げ装置に切り替えられる。次いで、適切な動作および照明であることを確定するためにロボット装置の機能がチェックされる。次いで、執刀者が、手術を開始する。一実施形態では、手術中に、ロボット装置の位置変更を行い、ツール移動を追跡するためにパン/チルト機能を作動させることができる。次いで、da Vinci（登録商標）システム・ツールを使用して手術を実

10

20

30

40

50

施できるが、ただし、装置から送られて来る1次ビデオ・フィードバックを使用する。手術の後、ロボット装置は、特殊なトロカールに戻され、腹部が収縮し、ロボット装置が引き込まれる。

【0233】

当業者であれば、説明されている方法は、単なる一実施形態を表すものであり、説明されている順序は、変えることができ、さまざまな工程を説明されている方法に挿入するか、または取り除くことが可能であることを理解するであろう。

【0234】

説明されている方法および類似の手技は、いくつかの実施形態において da Vinci (登録商標) システムと連携して少なくとも1つのロボット装置を使用することを含む、複数の連携装置の連携使用により外科医を補助するロボット装置を使用する利点を示している。この実施形態では、ロボット装置は、手術中に外科医に補完的視覚フィードバックを送る。複数の視点が外科的環境の理解を高め、それにより、どのようにして少なくとも1つのロボット装置が互いに、または da Vinci (登録商標) システムと連携して、外科介護を改善するかを示す。

10

【0235】

一実施形態では、手術部位に妨げられることなくアクセスすることは、腹腔のすでに限られているスペース内で使用するように構成されていても、機動的に、また自由自在に配置できるように設計されている装置を使用することで実現される。本発明の実施形態では、連携外科的環境は、腹腔内で機動的に配置できるような方法で腹壁からロボット装置を吊り下げることにより達成される。適切な手術部位の有用なビデオ・フィードバックによる機能性も実現される。他の実施形態では、装置は、カメラのパンおよびチルトを行うだけでなく、腹腔内でさまざまな距離にある物体に焦点を合わせることもできる。

20

【0236】

他の実施例では、外科手術を実行するために吊り下げられているパン/チルト・ロボット装置が da Vinci (登録商標) システムと連携使用される。吊り下げられている装置は、da Vinci (登録商標) コンソールに1次(非立体)視覚フィードバックを送る。外科医が利用できるフィードバックを最適化するために、手術全体を通して位置変更および作動が行われる。

【0237】

他の実施形態では、ロボット装置から da Vinci (登録商標) コンソールへのビデオ・フィードバックは、コンソールの2つの接眼レンズのうちの1つのみに送られる。外科医は、別のジョイスティックを介してコンソールからパン/チルト装置機能を制御する。連携ロボット装置を使用することで利用できる複数の視点が、外科的環境の理解を改善する。

30

【0238】

他の実施形態では、装置視覚フィードバックを使用する da Vinci (登録商標) による手技は、低侵襲性外科手術における連携装置が実現されることを実証している。追加のフィードバックはきわめて有益であり、これを用いて、外科医は手術部位をさまざまな角度から走査できる。パン/チルト装置懸垂システムも、腹腔鏡アーム用に複数の切開部を形成しなくても手術全体を通して装置の位置変更を行うことができる。

40

【0239】

一実施形態では、自然開口部手術は、ロボット装置を患者の胃の中に挿入するために使用される挿入コンポーネントを伴うことができる。一態様では、挿入コンポーネントは、殺菌済みチューブ状コンポーネント(本明細書では「挿入オーバーチューブ」とも呼ばれる)である。標準的な上部内視鏡を使用して装置が体内に挿入される一実施形態では、オーバーチューブは、ロボット装置と内視鏡の両方についてサイズが決められる。

【0240】

一実施形態による、自然開口部手術の1方法は、標準上部内視鏡とともに殺菌済みオーバーチューブを患者の胃の中に送り込むことと、抗生物質溶液で胃を洗浄することとを含

50

む。次いで、ロボット装置がオーバーチューブを通して胃腔内に挿入される。次いで、ロボットが、内視鏡針尖刀で形成された経胃切開部を通して腹腔内に挿入される。切開は、ロボットとほぼ同じ直径のものとすることができる。最後に、装置は、胃腔内に引き込まれる。その後、2つの内視鏡用クリップと1つの内視鏡用ループを使用して、経胃切開の内視鏡的閉鎖術が実行される。さらに、ロボット装置は、内視鏡用ループで掴まれ、食道を通して引き戻される。

【0241】

本発明は、好ましい実施形態を参照しつつ説明されているが、当業者であれば、本発明の精神および範囲から逸脱することなく形態および詳細に変更が加えられうることを理解するであろう。

【実施例1】

【0242】

モーター・トルク

モバイル・ロボット装置の開発において考慮すべき要素の1つは、装置を移動するのに必要なトルクの量であった。

【0243】

必要なトルクを計算するために、傾斜面上に動かずにいるロボットの自由体図を使用して、ロボットを傾斜面上に静止させておくのに必要なトルクを計算した。この計算結果が、モーターが必要とするストール・トルクとなる（表面の摩擦が、ホイールがスリップするのを妨げるのに十分な摩擦であると仮定した）。以下の図29に自由体図が示されている。

【0244】

この自由体図から、以下の式が書かれた。

$$\begin{aligned} (W \sin \theta) r &= (m a) + l \alpha + \\ W \sin \theta - f &= m a \\ W \cos \theta &= N \end{aligned}$$

この結果、以下のようになる。

【0245】

$$\tau = (W \sin \theta) r$$

ただし、

Wは、円筒の重量であり、

θ は、傾斜面の角度であり、

rは、円筒の半径であり、

mは、円筒の質量であり、

aは、円筒の加速度であり、

lは、円筒の慣性モーメントであり、

α は、円筒の角加速度であり、

τ は、モーターのトルクであり、

fは、円筒と傾斜面との間の摩擦力であり、

Nは、法線力である。

【0246】

ロボットは、直径15mm、長さ76mmの固体アルミニウム円筒としてモデル化された。このサイズの固体アルミニウム円筒は、質量36.4g、慣性モーメント1.02 [kg·m²]であろう。計算結果から、 θ 度の傾斜面上でロボットがその位置を保持するには、トルク τ が必要であることがわかる（表1）。

【0247】

10

20

30

40

【表 1】

表 1

傾斜度と必要なトルク	
θ	τ
0	0.00 mN-m
15	0.69 mN-m
30	1.34 mN-m
45	1.89 mN-m
60	2.32 mN-m
75	2.58 mN-m

10

ロボットを移動するのにどれだけのトルクが必要かを決定した後に、速度を落とし、モーターからのトルク出力を高めるモーターおよびギアヘッドが選択された。トルク要件を満たしているか調べるために、2つのモーターが試験された。第1のモーターは、標準の市販の直径6mmのページャー・モーターであり、第2のモーターは、ラジオ・シャック社(Radio Shack)から市販されている、おもちゃのZipZap(商標)リモコン自動車から取り出された6mmの青色モーターであった。

【0248】

試験の結果、1ボルト入力に対するそれぞれのモーターのストール・トルクが判明した。試験のため、バーがモーター軸上に置かれ、電圧がモーターに印加された。次いで、印加される電圧毎に、バーが止まった角度が測定された。モーター軸上に存在するトルクが計算され、電圧を横軸にとってプロットされ、モーターのストール・トルク/ボルトを決定するために、直線当てはめが使用された。試験の結果は、表2に示されている。

20

【0249】

【表 2】

表 2

モーター・トルク							
6mm ページャー・モーター				ZipZap(商標)モーター(青)			
電圧 [V]	角度 [度]	トルク [mNm]	[mNm]/ [V]	電圧 [V]	角度 [度]	トルク [mNm]	[mNm]/ [V]
0.5	5.0	0.02	0.043	-	-	-	-
1.0	8.5	0.04	0.037	1.0	3.5	0.02	0.015
1.5	12.0	0.05	0.035	1.5	6.0	0.03	0.017
2.0	16.0	0.07	0.034	2.0	8.5	0.04	0.018
2.5	18.5	0.08	0.032	2.5	10.5	0.05	0.018
3.0	21.5	0.09	0.030	3.0	12.0	0.05	0.017
		直線当 てはめ	0.028			直線当 てはめ	0.019

30

この試験の結果から、いずれのモーターも、最小よりも大きな勾配の傾斜面上にモバイル・ロボットを保持するのに十分なトルクを供給しないことがわかる。ZipZap(商標)モーターは、3Vで0.057[mNm]を発生し、ページャー・モーターは、3Vで0.084[mNm]を発生しうる。モーターは両方とも、15度の傾斜面上でロボットを静止状態に保つことのみ可能であろう。

40

【0250】

試験された他のモーターは、ナミキ社(Namiki)から市販されている、ギアヘッドPG04-337を備えるモデルSBL04-0829であった。モーターは、3Vで動作し、試験結果から、80rpmで10.6[mNm]のストール・トルクを発生しうることがわかった。このモーターは、75度の坂に置かれているロボットに対し設計係数を4とする(滑るのを妨げる十分な摩擦力がある場合)。

【0251】

50

ホイールの摩擦

2つのホイールの摩擦特性について試験された。

試験された装置は、28.35 g (1.0 オンス) の重量 (「W」) を有するロボットであった。2つのホイールの半径は、7.5 mm であり、アルミニウム製であった。

【0252】

実験は、テーブル表面、マウス・パッド、パーティクル・ボード、スライスした牛のレバーの4種類の物体の上で実施された。ロボットは、これらの物体のそれぞれの上に置かれ、最大摩擦力Fが測定された。7.1 g (1/4 オンス) 単位で区切られたOhausパネばかりを使用して力が測定された。力は、最近1.42 g (0.05 オンス) に近かった。

【0253】

摩擦係数は、式 $\mu = F / W$ により決定された。表3は、実験で測定された4つの摩擦係数を示している。

【0254】

【表3】

表3

さまざまな表面における摩擦係数		
	最大摩擦力(oz.)	摩擦係数
テーブル	0.05	0.050
マウス・パッド	0.65	0.65
パーティクル・ボード	0.2	0.2
牛のレバー	0.1	0.1

上記のホイールを2つ備える装置に対し、追加の力解析も行った。つまり、必要な摩擦力の量は、以下のようにして決定された。

【0255】

力解析は、弾性体基礎に基づいた、つまり、モバイル・ロボット装置は、弾性曲面上で転がると仮定された(図30を参照)。このモデルでは、転がりに対する摩擦抵抗は、もっぱら、基礎の変形からのヒステリシスによるものである。接触部分では、弾性力 (X) は、xの正規分布関数であると仮定された。ここで、xは、-aからaまでの範囲内であった。そこで、式

【0256】

【数1】

$$\frac{G}{2aL} = \int_{-a}^a \delta(x) dx$$

が導き出された。

【0257】

次いで、上の式から、

【0258】

【数2】

$$\delta(x) = \frac{2G}{\pi a} \left[1 - \left(\frac{x}{a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

が得られた。

【0259】

したがって、各部分の摩擦力の差の総和は、

10

20

30

40

50

$$f = () \cos () + () \sin (l)$$

となる。

【0260】

積分計算により、摩擦力

【0261】

【数3】

$$f = \frac{4}{3} \left(\frac{W}{\pi} \right)^{3/2} \frac{1}{\sqrt{R}} \sqrt{\frac{1-v^2}{\Sigma}}$$

が得られるが、ただし、 Σ はヤング率であり、 R はポアソン比である。

10

【0262】

力解析から、摩擦力は、重量に比例し、ホイールの半径に反比例することがわかった。したがって、以下の2つの方法のいずれかを使用して、摩擦力に影響を与えることが可能であろう。第1に、ロボットの質量を増やすことが可能である。そうするのにちょうどよい方法は、ホイールの材料を変更することであろう。第2に、ホイールの半径を縮小してもよいであろう。他の解決策は、ホイールにトレッドを付加することである。それとは別に、ホイール自体の直径を縮小せずに、トレッドの先端の半径を小さくしてもよい。

【実施例2】

【0263】

この実施例では、上記の一実施形態による、モバイル・ロボットに対するマニピュレータ・アームについて速度解析が実施された。

20

このような解析を実行するときに、ヤコビアンと呼ばれる行列量を定義すると有益であった。ヤコビアンは、関節空間における速度から直交座標空間における速度への写像を指定する。ヤコビアンは、任意のフレームについて求めることができ、また後述の関節トルクを求めるためにも使用されうる。

【0264】

図7Bは、この実施例でヤコビアンを求めるために使用されるマニピュレータの略図である。ヤコビアンの詳細については、(例えば、非特許文献4を参照)。

ヤコビアンを求める際に使用される基本方程式は、

【0265】

30

【数4】

$${}^{i+1}V_{i+1} = {}^{i+1}R \cdot ({}^iV_i + \omega_i \times {}^iP_{i+1})$$

$${}^{i+1}\omega_{i+1} = {}^{i+1}R \cdot \omega_i + \dot{\theta}_{i+1} {}^{i+1}Z_{i+1}$$

$${}^iV = J(\theta) \dot{\theta}$$

$${}^0_1 R = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_2 & 0 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow {}^1_0 R = \begin{bmatrix} c\theta_1 & s\theta_1 & 0 \\ -s\theta_1 & c\theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 10$$

$${}^1_2 R = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 \\ s\theta_2 & c\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -s\theta_2 & -c\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$${}^2_1 R = \begin{bmatrix} -s\theta_2 & 0 & c\theta_2 \\ -c\theta_2 & 0 & -s\theta_2 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$${}^2_3 R = \begin{bmatrix} c\theta_3 & -s\theta_3 & 0 \\ s\theta_3 & c\theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow {}^3_2 R = \begin{bmatrix} c\theta_3 & s\theta_3 & 0 \\ -s\theta_3 & c\theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 20$$

である。

【0266】

リンク1については、

【0267】

【数5】

$${}^i=0 \quad {}^1V_1 = {}^0_1 R \cdot ({}^0V_0 + \omega_0 \times {}^0P_1) = 0 \quad 30$$

$${}^1\omega_1 = \frac{1}{0} R \cdot \omega_0 + \dot{\theta}_1 \cdot {}^1z_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix}$$

である。

【0268】

リンク2については、

【0269】

【数6】

$${}^i=1 \quad {}^2V_2 = {}^1_2 R \cdot ({}^1V_1 + \omega_1 \times {}^1P_2) = 0 \quad 40$$

$${}^2\omega_2 = \frac{2}{1} R \cdot \omega_1 + \dot{\theta}_2 \cdot {}^2z_2 = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \cdot c\theta_2 \\ -\dot{\theta}_1 \cdot s\theta_2 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix}$$

である。

【0270】

リンク3、 $i=2$ については、

【0271】

【数7】

$${}^3V_2 = {}^3R \cdot ({}^2V_2 + {}^2\omega_2 \times {}^2P_3) = \begin{bmatrix} L_1 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot s\theta_3 \\ L_1 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot c\theta_3 \\ L_1 \cdot \dot{\theta}_1 \cdot s\theta_2 \end{bmatrix}$$

$${}^3\omega_3 = {}^3R^2\omega_2 + \dot{\theta}_3 \cdot {}^3z_3 = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \cdot c\theta_2 \cdot c\theta_3 - \dot{\theta}_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3 \\ -\dot{\theta}_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - \dot{\theta}_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3 \\ \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}$$

10

である。

【0272】

リンク4、 $i = 3$ については、

【0273】

【数8】

$${}^4V_4 = {}^4R \cdot ({}^3V_3 + {}^3\omega_3 \times {}^3P_4) = L \begin{bmatrix} \dot{\theta}_2 \cdot s\theta_3 \\ \dot{\theta}_2 \cdot (c\theta_3 + 1) \cdot s\theta_3 + \dot{\theta}_3 \\ \dot{\theta}(c\theta_2 s\theta_3 + s\theta_2 c\theta_3 + s\theta_2) \end{bmatrix}$$

$${}^0V_4 = {}^0R^4V_4 = {}^0R^2 \cdot {}^1R^3 \cdot {}^2R^4 \cdot {}^3R^4 V_4$$

20

$${}^0R_4 = \begin{bmatrix} -c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3 & -c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot c\theta_3 + c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3 & s\theta_1 & 0 \\ -s\theta_1 \cdot c_2 \cdot s\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3 & -s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot c\theta_3 + s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3 & -c\theta_1 & 0 \\ 0 & -c\theta_2 \cdot s\theta_3 - s\theta_2 \cdot c\theta_3 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$${}^0V_4 = L \cdot \begin{bmatrix} s_1 \cdot (c_2 \cdot s_3 + s_2 \cdot c_3 + s_2) & c_1 \cdot (s_2 \cdot s_3 - c_2 \cdot c_3 - c_2) & c_1 \cdot (s_2 \cdot s_3 - c_2 \cdot c_3) \\ -c_1 \cdot (c_2 \cdot s_3 + s_2 \cdot c_3 + s_2) & s_1 \cdot (s_2 \cdot s_3 - c_2 \cdot c_3 - c_2) & s_1 \cdot (s_2 \cdot s_3 - c_2 \cdot c_3) \\ 0 & -s_2 \cdot c_3 - c_3 \cdot s_3 - s_2 & -c_2 \cdot s_3 - s_2 \cdot c_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}$$

30

$${}^0J(\theta) = L \cdot \begin{bmatrix} (s_2 + s_{23})s_1 & -(c_2 + c_{23})c_1 & -c_{23}c_1 \\ -(s_2 + s_{23})c_1 & -(c_2 + c_{23})s_1 & -c_{23}s_1 \\ 0 & -s_2 - s_{23} & -s_{23} \end{bmatrix}$$

であるが、ただし、 $S_n \sin_n c_n = \cos_n$ 、 $s_{nm} = \sin(n + m)$ 、 $c_{nm} = \cos(n + m)$ である。

【0274】

第2の方法からは、図7Cに見られる結果が得られる。 x 、 y 、および z の式は、リンク3の先端に対するものである。

【0275】

【数9】

$$\begin{aligned} z &= L_1 + L_2 \cdot \cos \theta_2 + L_3 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) \\ x &= -[L_2 \cdot \sin \theta_2 + L_3 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3)] \cdot \cos \theta_1 \\ y &= -[L_2 \cdot \sin \theta_2 + L_3 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3)] \cdot \sin \theta_1 \end{aligned}$$

$${}^0J(\theta) = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \theta_1} & \frac{\partial x}{\partial \theta_2} & \frac{\partial x}{\partial \theta_3} \\ \frac{\partial y}{\partial \theta_1} & \frac{\partial y}{\partial \theta_2} & \frac{\partial y}{\partial \theta_3} \\ \frac{\partial z}{\partial \theta_1} & \frac{\partial z}{\partial \theta_2} & \frac{\partial z}{\partial \theta_3} \end{bmatrix}$$

$${}^0J(\theta) = \begin{bmatrix} (L_2 s_2 + L_3 s_{23}) s_1 & -(L_2 c_2 + L_3 s_{23}) c_1 & -L_3 c_{23} c_1 \\ -(L_2 s_2 + L_3 s_{23}) c_1 & -(L_2 c_2 + L_3 s_{23}) s_1 & -L_3 c_{23} s_1 \\ 0 & -L_2 s_2 + L_3 s_{23} & -L_3 s_{23} \end{bmatrix}$$

ただし、 $L_1 = L_2 = L$ であるため、 $s_n = \sin n$ 、 $c_n = \cos n$ 、 $s_{nm} = \sin(n + m)$ 、 $c_{nm} = \cos(n + m)$ である。

【0276】

【数10】

$${}^0J(\theta) = L \cdot \begin{bmatrix} (s_2 + s_{23}) s_1 & -(c_2 + c_{23}) c_1 & -c_{23} c_1 \\ -(s_2 + s_{23}) c_1 & -(c_2 + c_{23}) s_1 & -c_{23} s_1 \\ 0 & -s_2 - s_{23} & -s_{123} \end{bmatrix}$$

この実施例でマニピュレーターに対して選択されたモーターは、ファウルハーバー・カンパニー社 (Faulhaber Company) で製造している6V DCマイクロモーターであった。この6Vモーターは、15,800rpmの無負荷速度、4.104g・cm(0.057オンス・インチ)のストール・トルクを有し、重量3.40g(0.12オンス)の6Vモーターであった。モーターの直径は8mm、長さは16mmであった。

【0277】

無負荷速度が大きいため、高精度のギアヘッドが使用された。使用される高精度ギアヘッドは、遊星ギアヘッドであった。予備解析のため、減速比256:1のギアヘッドが選択された。これの直径は8mm、長さは17.7mm、重量は5.39g(0.19オンス)であった。

【0278】

この特定の調査のため10mmの磁気エンコーダーが選択された。これは、長さが16.5mmであるが、アセンブリの全長に11.5mmが加わるに過ぎなかった。エンコーダーの重量は、2.83g(0.1oz)であると仮定された。エンコーダーは、位相シフト90度の2つのチャンネル(AおよびB)を備え、これらは、固体ホール・センサーおよび低慣性磁気ディスクにより実現される。表4は、モーター、遊星ギアヘッド、およびエンコーダーの特性をまとめたものである。

【0279】

10

20

30

40

【表 4】

表 4

モーター特性のまとめ		
	質量(m)	長さ(L)
モーター(M) シリーズ 0816 006 S	0.12 oz	16 mm
遊星ギアヘッド(G) シリーズ 08/1 減速比 256:1	0.19 oz	17.7 mm
エンコーダー(E) タイプ HEM 0816	≒0.1 oz	11.5 mm
合計	0.41 oz	45.2 mm

$$L_T = L_M + L_{PG} + L_E = 45.2$$

$$m_T = m_M + m_{PG} + m_E = 0.41 \text{ oz}$$

【 0 2 8 0 】

【数 1 1】

$$m_T = 0.41 \text{ oz} \times 28.3495 \frac{\text{g}}{\text{oz}} = 11.623 \text{ g}$$

図 7 A は、 L_L 、 L_{BJ} 、 M_1 、 M_2 、 $m_1 \text{ g}$ 、 $m_2 \text{ g}$ 、および W_p というラベルが付
けられているこの実施例で使用されるマニピュレーターの略図である。

【 0 2 8 1 】

【表 5】

表 5

リンク特性のまとめ	
リンク特性	
長さ、 $L_L (=L_2=L_3)$	60 mm
関節間の長さ、 L_{BJ}	59.5 mm
外径、 D_o	12 mm
内径、 d_i	8 mm
肉厚、 t	2 mm
密度、 ρ	1.18 g/cm ³

以下の計算のため、リンクは、図 7 D に示されているように円筒形チューブであると仮
定した。

【 0 2 8 2 】

リンク体積：

【 0 2 8 3 】

10

20

30

【数12】

$$V_L = \frac{D_o^2}{4} \cdot L_L - \frac{d_i^2}{4} \cdot (L_1 - 2t)$$

$$V_L = \frac{(12\text{mm})^2}{4} \times 60\text{mm} - \frac{(8\text{mm})^2}{4} \times (60 - 2 \times 2)\text{mm} = 2160\text{mm}^3 - 896\text{mm}^3 = 1264\text{mm}^3$$

リンク質量:

$$m_L = \rho \cdot V_L$$

$$m_L = 1.18 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{\text{cm}^3}{(10\text{mm})^3} \times 1264\text{mm}^3 = 1.49152\text{g}$$

10

モーターとリンクの総重量:

$$m = m_1 + m_L$$

$$m = 11.6233\text{g} + 1.49152\text{g} = 13.1148\text{g}$$

$$m_1 = m_2 = m$$

ペイロード質量

$$m_p = 5\text{g}$$

モーメントの計算(図7Aを参照):

【0284】

【数13】

20

$$M_1 = m_1 \cdot g \cdot \frac{L_1}{2} + m_2 \cdot g \cdot \left(L_1 + \frac{L_2}{2} \right) + m_3 \cdot g \cdot (L_1 + L_2)$$

 $L_1 = L_2 = L$ なので、

$$M_1 = \left(\frac{m_1}{2} + \frac{3 \cdot m_2}{2} + 2 \cdot m_3 \right) \cdot g \cdot L_{BJ}$$

$$M_1 = \left(\frac{13.1148}{2} \text{g} + \frac{3 \cdot 13.1148}{2} \text{g} + 2 \cdot 5\text{g} \right) \cdot 9.81$$

30

$$\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 59.5\text{mm} \cdot \frac{1\text{m}}{1000\text{mm}} \cdot \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}}$$

$$M_{1,} = 0.021147\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = 0.021147\text{N} \cdot \text{m} = \underline{\underline{21.147\text{mN} \cdot \text{m}}}$$

$$M_2 = m_2 \cdot g \cdot \frac{L_2}{2} + m_3 \cdot g \cdot L_2$$

40

$$M_2 = \left(\frac{M_2}{2} + m_3 \right) \cdot g \cdot L_{BJ}$$

$$M_2 = \left(\frac{13.1148}{2} \text{g} + 5\text{g} \right) \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 59.5\text{mm} \cdot \frac{1\text{m}}{1000\text{mm}} \cdot \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}}$$

$$M_2 = 0.006746\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = 0.006746\text{N} \cdot \text{m} = \underline{\underline{6.746\text{mN} \cdot \text{m}}}$$

50

上記の式に基づき計算すると、連続運転についてモーターにより許容される最大トルクは、 $612.07 \text{ g} \cdot \text{cm}$ (8.5 オンス・インチ) である、つまり 0.41 mNm であることがわかった。減速比 $256:1$ を使用すると、最大許容トルクは、 104.86 mNm ($256 \times 0.41 \text{ mNm}$) である。

【0285】

上記のように、さまざまな実施形態に応じて、他の減速比を有する高精度歯車も使用される。低減速比についての計算結果をまとめた表を以下に示す。これらの計算は、例示的であり、いかなる形でも制限することを意図していない。

【0286】

【表6】

表6

歯車減速比			
リンク1			
	重量 (oz)	重量 (g)	長さ (mm)
モーター	0.12	3.40194	16
遊星歯車	0.16	4.53592	15
エンコーダー	0.1	2.83495	11.5
合計	0.38	10.77281	42.5
リンク長(mm)=長さ+15=	57.5		
関節間長さ(mm)=リンク長-0.5=	57		
外径、 D_o (mm)=	12		
内径、 d_i (mm)=	8		
肉厚、 t (mm)=	2		
樹脂密度、 ρ (g/cm ³)=	1.18		
リンクの体積、 V (mm ³)=	1214		
リンクの重量、 m (g)=	1.43252		
モーターとリンクの重量、 m_{tot} (g)=	12.20533		
リンク2			
	重量 (oz)	重量 (g)	長さ (mm)
モーター	0.12	3.40194	16
遊星歯車	0.16	4.53592	15
エンコーダー	0.1	2.83495	11.5
合計	0.38	10.77281	42.5
リンク長(mm)=長さ+15=	57.5		
関節間長さ(mm)=リンク長-0.5=	57		
外径、 D_o (mm)=	12		
内径、 d_i (mm)=	8		
肉厚、 t (mm)=	2		
樹脂密度、 ρ (g/cm ³)=	1.18		
リンクの体積、 V (mm ³)=	1214		
リンクの重量、 m (g)=	1.43252		
モーターとリンクの重量、 m_{tot} (g)=	12.20533		
カメラまたはツールの重量、 m_c (g)=	5		
関節2の周りのモーメント、 $M1$ (mNm)=	19.24140875		
関節3の周りのモーメント、 $M2$ (mNm)=	6.2082771		
リンク長、 $L1$ (mm)=	57.5		
リンク長、 $L2$ (mm)=	57.5		
最大モーメント、 M_{max} (mNm)=	19.24		
最大許容トルク、 M_{max_all} (oz-in)=	8.5	=60.027	MNm
$M_{max} > M_{max_all}$ であるか?	いいえ		
最大可能トルク、 M_{max_pos} (mNm)=	歯車比	*モーター トルク=	26.214144
$M_{max_pos} > M_{max}$ であるか?		はい	
このモーターは、リンクを移動するために使用できる。			

10

20

30

40

50

【 0 2 8 7 】

【 表 7 】

表 7

歯車減速比			
リンク 1			
	重量 (oz)	重量 (g)	長さ (mm)
モーター	0.12	3.40194	16
遊星歯車	0.19	5.386405	17.7
エンコーダー	0.1	2.83495	11.5
合計	0.41	11.623295	45.2
リンク長(mm)=長さ+15=	60.2		
関節間長さ(mm)=リンク長-0.5=	59.7		
外径、 D_o (mm)=	12		
内径、 d_i (mm)=	8		
肉厚、 t (mm)=	2		
樹脂密度、 ρ (g/cm ³)=	1.18		
リンクの体積、 V (mm ³)=	1268		
リンクの重量、 m (g)=	1.49624		
モーターとリンクの重量、 m_{tot} (g)=	13.119535		
リンク 2			
	重量 (oz)	重量 (g)	長さ (mm)
モーター	0.12	3.40194	16
遊星歯車	0.19	5.386405	17.7
エンコーダー	0.1	2.83495	11.5
合計	0.41	11.623295	45.2
リンク長(mm)=長さ+15=	60.2		
関節間長さ(mm)=リンク長-0.5=	59.7		
外径、 D_o (mm)=	12		
内径、 d_i (mm)=	8		
肉厚、 t (mm)=	2		
樹脂密度、 ρ (g/cm ³)=	1.18		
リンクの体積、 V (mm ³)=	1268		
リンクの重量、 m (g)=	1.49624		
モーターとリンクの重量、 m_{tot} (g)=	13.119535		
カメラまたはツールの重量、 m_c (g)=	5		
関節 2 の周りのモーメント、 $M1$ (mNm)=	21.2236650		
関節 3 の周りのモーメント、 $M2$ (mNm)=	6.77005875		
リンク長、 $L1$ (mm)=	60.2		
リンク長、 $L2$ (mm)=	60.2		
最大モーメント、 M_{max} (mNm)=	21.22		
最大許容トルク、 M_{max_all} (oz-in)=	8.5	=60.027	MNm
$M_{max} > M_{max_all}$ であるか?	いいえ		
最大可能トルク、 M_{max_pos} (mNm)=	歯車比	*モーター トルク=	104.85658
$M_{max_pos} > M_{max}$ であるか?		はい	
このモーターは、リンクを移動するために使用できる。			

すでに求めてあり、以下に示されているヤコビアンを使用することにより、この実施例で使用されるマニピュレーターの先端に加えられる力により発生するトルクを計算することが可能である。しかし、この方法は、リンクおよびモーターの重量を考慮しないことに留意されたい。

【 0 2 8 8 】

【数 1 4】

$${}^0J(\theta) = L \cdot \begin{bmatrix} (s_2 + s_{23})s_1 & -(c_2 + c_{23})c_1 & -c_{23}c_1 \\ -(s_2 + s_{23})c_1 & -(c_2 + c_{23})s_1 & -c_{23}s_1 \\ 0 & -s_2 - s_{23} & -s_{23} \end{bmatrix}$$

$$f = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -f_z \end{bmatrix}$$

ただし、

$$f_z = 0.005 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0.04905 \text{ N}$$

10

および $L = 59.5 \text{ mm}$ である。

$${}^0\tau_j = {}^0J(\theta)^T \cdot f$$

$${}^0\tau_j = L \cdot \begin{bmatrix} (s_2 + s_{23})s_1 & -(c_2 + c_{23})c_1 & -c_{23}c_1 \\ -(s_2 + s_{23})c_1 & -(c_2 + c_{23})s_1 & -c_{23}s_1 \\ 0 & -s_2 - s_{23} & -s_{23} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -f_z \end{bmatrix}$$

$${}^0\tau_j = 59.5 \text{ mm} \cdot \begin{bmatrix} (s_2 + s_{23})s_1 & -(c_2 + c_{23})c_1 & -c_{23}c_1 \\ -(s_2 + s_{23})c_1 & -(c_2 + c_{23})s_1 & -c_{23}s_1 \\ 0 & -s_2 - s_{23} & -s_{23} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -0.4905 \text{ N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.918 \cdot (s_2 + s_{23}) \\ 2.918 \cdot s_{23} \end{bmatrix}$$

20

 $\theta_1 = 0^\circ$ 、 $\theta_2 = 90^\circ$ 、 $\theta_3 = 0^\circ$ を使用すると、

$${}^0\tau_j = \begin{bmatrix} 0 \\ 5.836 \\ 2.918 \end{bmatrix} \text{ mN} \cdot \text{m}$$

が得られる。

したがって、ベース・モーターのトルクは $0 \text{ mN} \cdot \text{m}$ であり、リンク 1 については、 $5.836 \text{ mN} \cdot \text{m}$ 、リンク 2 については、 $2.918 \text{ mN} \cdot \text{m}$ である。この結果は、最大のトルクがマニピュレーターの先端から最も遠く離れている関節に加えられるためつじつまが合う。また、距離は、真ん中の関節までの距離の 2 倍であるため、結果は、2 倍大きい。

30

【0 2 8 9】

リンクおよびモーターの質量については、

【0 2 9 0】

【数 15】

$${}^0\tau_{LM} \begin{bmatrix} W_{LM} \cdot \left(\frac{L_1}{2} + \frac{3 \cdot L_2}{2} \right) \\ W_{LM} \cdot \frac{L_2}{2} \end{bmatrix} = m \cdot g \cdot L \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix}$$

$${}^0\tau_{LM} = 13.1148g \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 59.5mm \times \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix} \times \frac{1m}{1000mm} \times \frac{1kg}{1000g} = \begin{bmatrix} 0 \\ 15.31 \\ 3.828 \end{bmatrix} mN \cdot m$$

10

となる。

全トルクは、

$${}^0\tau = {}^0\tau_j + {}^0\tau_{LM} = \begin{bmatrix} 0 \\ 5.836 \\ 2.918 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 15.31 \\ 3.828 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 21.146 \\ 6.746 \end{bmatrix} mN \cdot m$$

である。

上に示されているように、両方の方法から同じ結果が得られる。

20

【0291】

この実施例で使用されるマニピュレーター・アーム・ロボットの実施形態では、電子回路および制御装置類は、上の「発明を実施するため最良の形態」で説明され、図8でブロック図形式により示されている4つの主要セクションから成り立っていた。それぞれのハードウェア・セクションについて詳しく説明し、続いて、PCI-DSPカードを制御するPCソフトウェアおよびマイクロコントローラ上で実行されるソフトウェアについて説明する。

【0292】

この実施形態のハードウェアの第1のセクションは、モーション・エンジニアリング・インコーポレイテッド社 (Motion Engineering, Inc.) のPCI/DSPモーション・コントローラ・カードを搭載したPCであった。このカードは20MHzで動作するAnalog Devices DSPチップを使用しており、最大4軸までの閉ループPID制御を同時に行う。これは、位置フィードバック用のエンコーダ入力を備えていた。サーボ・アナログ出力は、16ビットDACにより制御され、これにより、非常に正確な出力制御を行うことができた。このカードは、また、増幅器イネーブル出力、増幅器フォルト出力、ホーム出力、正リミット入力、および負リミット入力を含む、複数の専用デジタルI/O機能を備えていた。しかし、本出願では、基本機能、つまり、サーボ・アナログ出力およびデジタル・エンコーダ入力のみが使用された。PCI/DSPには、フル機能のCプログラミング・ライブラリーが付属しており、さまざまなモーション機能のプログラミングに役立った。また、Windowsベースのプログラム、Motion Controlも用意されており、コントローラの構成およびチューニングを行うだけでなく、単純な1軸モーション・プロファイルからデータを取り込むことができた。

30

40

【0293】

PCI/DSPからの出力は、±10Vの範囲のアナログ信号であった。マイクロコントローラとインターフェースするために、この信号は、0.5V範囲に変換された。2つの単純なOPアンプ回路が、この機能を実行した。両方のOPアンプ回路において、ナショナル・セミコンダクター社 (National Semiconductor) のLM318 OPアンプが使用された。第1のセクションは、-0.25の利得を持つ標準反転回路であった。これは、±10V入力を-/ +2.5V出力に変換する。この回路は、

50

図 3 1 A に示されている。第 2 のセクションは、

【 0 2 9 4 】

【 数 1 6 】

$$V_0 = (V_2 - V_1) \frac{R_2}{R_1}$$

で与えられる伝達関数を持つ加算増幅器回路である。

【 0 2 9 5 】

V 2 を一定電圧 2 . 5 V とすると、出力電圧 0 ~ 5 V が結果として得られる。この回路は、図 3 1 B に示されている。

10

高周波雑音を除去するために、キャパシタがそれぞれの O P アンプの出力のところに入れられた。この 2 増幅器回路は、軸毎に全く同じものを用意する。1 0 K ポテンショメータにより、2 . 5 V 基準電圧が供給される。

【 0 2 9 6 】

アナログ電圧がスケーリングされ、シフトされた後、それぞれ、P s o C (プログラマブル・システム・オン・チップ) マイクロコントローラによりサンプリングされ、P W M 出力信号および指令信号に変換される。さらに、P s o C は、入力電圧に基づき指令出力を供給する。P s o C は、サイプレス・セミコンダクター社 (C y p r e s s S e m i c o n d u c t o r) により製造されている、8 ビット・コントローラであり、P s o C D e s i g n e r ソフトウェア・パッケージを使用して多数の異なる機能を実行するように構成されうるいくつかの汎用デジタルおよびアナログ「ブロック」を備える。これらの機能は、限定はしないが、A D C、D A C、P W M 発生器、タイマー、U A R T S、L C D ドライバ、フィルタ、およびプログラム可能増幅器を含む。P s o C D e s i g n e r は、さらに、それらのオンボード・コンポーネントとインターフェースするために C およびアセンブリ言語からアクセス可能な A P I も備える。本明細書で説明されている実施形態に関して、単一の A D C、アナログ・マルチプレクサ、および 3 つの P W M 発生器が使用された。P W M 出力のデューティ・サイクルは、アナログ入力信号に正比例する。表 8 は、マイクロコントローラの機能をまとめたものである。

20

【 0 2 9 7 】

【 表 8 】

30

表 8

マイクロコントローラ機能		
アナログ入力	PWM 正デューティ・サイクル	指令出力
Vin = 2.5V	0%	X
0 < Vin < 2.5	50% < Dc < 0%	低
2.5 < Vin < 5	0% < Dc < 50%	高

マイクロコントローラ回路の出力は、F A N 8 2 0 0 の入力に供給された。これらは、2 0 ピン表面実装パッケージ内の H - B r i d g e D r i v e r 回路であった。それぞれのドライバーは、イネーブルおよび指令入力を有していた。この実施形態では、P W M 信号がイネーブル入力に供給され、マイクロコントローラの指令出力は、モーター・ドライバーの指令入力に供給された。ロボットに搭載されているモーターは、P C I / D S P カードに直接接続されており、信号調節はいっさい必要なかった。すでに説明したように、P s o C マイクロコントローラは、3 つのアナログ出力をそれぞれサンプリングし、対応する P W M デューティ・サイクルおよび指令出力をそれに応じて更新した。

40

【 0 2 9 8 】

コードの大半は、A D C 割り込み処理ルーチン内で実行された。I S R の流れ図が、図 3 2 に示されている。初期化後、P s o C のメイン・プログラムは、エンドレス・ループに入った。A D C は、周期割り込みを発生するように設定された。データがサンプリングされた後、最後の 2 つのサンプルが無視されたか調べるためのチェックが実行された。3

50

つの異なる入力信号がサンプリングされるので、ハードウェアの制限上、有効な値を取得する前に、2つのサンプルをスキップする必要があった。最後の2つのサンプルがスキップされた場合、適切なPWMパルス幅レジスタおよび指令ビットがセットされた。次に、アナログ・マルチプレクサーの入力が、次の軸入力に切り替えられた。次いで、このサイクルは、次の割り込みが発生すると繰り返された。

【0299】

システム内の他のソフトウェア要素は、ロボットを試験するために使用されるPCプログラムであった。これは、PCI/DSPにコマンドを送信するためにMotion Engineeringライブラリーを使用するコンソールベースのWindowsプログラムであった。このプログラムは、それぞれの軸を個別に移動するか、またはDSPの協調モーション機能を使用して3つの軸をすべて同時に移動することができ、これにより、ユーザーは、軸毎に、エンコーダー・カウント単位で所望の位置を入力することができる。次いで、DSPカードは、適切なモーション・プロファイルを作成し、それぞれのモーターを正しい位置に移動する。このプログラムは、さらに、分析のためそれぞれのモーターに対するインパルス応答を発生するのに使用された。

10

【0300】

システム制御を設計するのに利用可能ないくつかの技術があり、ここでは、3リンク・ロボット・アームの制御設計に現代的制御理論が使用された。典型的な現代制御システムは、プラントおよびフィードフォワードのコントローラを備える。この設計理論は、図33にブロック図として示されている。現代的制御理論は、制御設計のための効果的な一般に使用されている理論である。

20

【0301】

この場合、現代的制御理論は、3つの独立のコントローラを設計するために使用された。3つのコントローラは、アームのマニピュレーションに使用される3つのモーターを制御するために必要であった。これを実行するために、3つの独立のシステムが存在していると仮定した。それぞれのシステムは、ただ1つのモーターが、システム内で制御されており、アクティブであると仮定して、設計された。これは、外乱に対するシステムの反応を測定する方法に基づいて容認できた。

【0302】

図34には、外乱を含むシステムのブロック図が示されている。出力Cが入力Rにどのように応答するかを決定するために、Dはゼロに設定される。この方法を使用することで、制御されていないモーターは、外乱に相当すると考えられ、ゼロに設定される。次いで、これにより、コントローラは、単一入力を含む単一出力に基づき設計された。しかし、3つの独立の出力があるため、3つの独立のシステムは、それでも必要である。これらの出力は、軸1、2、および3の、エンコーダー・カウント単位のモーター位置である。

30

【0303】

一実施形態では、設計者がプラントを設計するために使用できる方法がいくつかある。使用されるほとんどの方法は、解析的である。この場合、プラントの実験的近似が作成された。これは、システムを近似するうえで効果的で検証可能な方法であった。実験データを収集するために、コンピュータ・プログラムを使用して、電圧インパルスをもーターに送った。プログラムは、同時に、エンコーダーを使用してモーターの位置を記録した。この手順は、モーター毎に1回、別々に3回実行された。次いで、時間(秒数)に対するモーター位置(エンコーダー・カウント単位)のプロットを作成するために、これらのデータが使用された。これらのデータから得られたプロットは、図35A、35B、および35Cに示されている。これらのプロットでは、軸1は、リンク1に対するモーター、軸2は、リンク2に対するモーター、軸3は、リンク3に対するモーターを表す。

40

【0304】

図35A、35B、および35Cのデータを解析することで、インパルス入力に対する時間応答の近似が得られた。経験が、このシステムでは十中八九、零点よりも極のほうが2つ多いと判定するのに役立った。これが正しいかどうかを判定するために、連続時間領

50

域を使用してデジタル・システムの近似が作られた。連続時間領域内のプラントに対するアルゴリズムは、Maple Vを使用してFORTRAN用のものが作成された。次いで、このアルゴリズムは、誤差サブルーチンに組み込まれた。最大9個までの変数の値を決定するシプレックス探索プログラムは、この誤差サブルーチンを使用した。このプログラムは、実験プラントと比較して、近似プラントで生成された誤差平方和をもはや小さくできなくなるまで実行された。

【0305】

実験プラントの近似を求めるために、プラントの複数の構成が使用された。これは、複素極の使用だけでなく、伝達関数内の極と零点の個数の変更も含んでいた。これらの構成から、プラント $G(s)$ は、以下の式に示されている連続時間領域内で伝達関数を使用してモデル化されうると決定された。この式において、極は、0、 $-b$ 、および $-c$ であり、零点は、 $-a$ である。

【0306】

【数17】

$$G(s) = \frac{s + a}{s(s + b)(s + c)}$$

シプレックス探索プログラムを誤差サブルーチンとともに使用することで、以下のシステム・プラント値が決定された。

軸1に対するシステム：

$$a = 427251.2$$

$$b = 465.3229$$

$$c = 18.28435$$

$$\text{誤差平方和} = 16.3779$$

軸2に対するシステム：

$$a = 22.219726 * 10^9$$

$$b = 4.142605 * 10^{16}$$

$$c = 56.9335$$

$$\text{誤差平方和} = 2.86986$$

軸3に対するシステム：

$$a = 282220.0$$

$$b = 414.5029$$

$$c = 24.2966$$

$$\text{誤差平方和} = 9.7724$$

すべてのモーターは同一なので、これらは、ロボット上の異なる位置に配置されているとしても、類似のシステム極および零点を有しているべきである。これは、軸1および3に対するシステムについては真であることが示された。しかし、軸2に対するシステムは、他の2つのシステムにあまり適合していなかった。これは、データがよくないせいであると思われる。軸2のモーターに対するインパルスが大きければ大きいほど、より現実的なデータを得るのに役立つと言えた。

【0307】

連続時間領域におけるシステムがデジタル・システムから取り出されたデータをどれだけよく反映しているかを調べるために、誤差サブルーチンがもう一度使用された。このときに、誤差サブルーチンは、サブルーチンとしてではなくプログラムとしてコンパイルされた。a、b、およびcに対する上記の値を誤差プログラムに代入することにより、連続当てはめが実際のデジタル・データに写像された。これらの結果は、もう一度、時間(秒数)に対するモーター位置(エンコーダー・カウント単位の)としてプロットされた。これらのプロットは、図36A、36B、および36Cに示されている。これらの図のそれぞれに示されているように、作成された近似は、実際のデータのよい当てはめとなっていた。

【0308】

ロボット上のモーター位置を制御するために、PIDコントローラが使用された。PIDコントローラを使用する場合、図31Aおよび31Bからのコントローラは、式

【0309】

【数18】

$$D(s) = K_p + K_D s + \frac{K_I}{s}$$

の形をとる。

【0310】

ただし、 K_p は、比例定数であり、 K_D は、微分定数であり、 K_I は、積分定数である。PIDコントローラでは、システムは、タイプ2のシステムになる。これは、ステップおよびランプ入力への応答の誤差がゼロであることを意味する。しかし、放物線入力への応答の誤差は、 $1/K_a$ である。ただし、 K_a は、加速度定数であり、

【0311】

【数19】

$$K_a = \lim_{s \rightarrow 0} [s^2 D(s) G(s)] = \frac{K_I a}{bc}$$

と定義される。

【0312】

入力を定義することができるので、放物線入力は、使用されない。

K_p 、 K_D 、および K_I に対する値の計算は、Ziegler-Nicholsチューニング法とともにRouth Analysisを使用して実行された。Routh Analysisでは、システム伝達関数の特性方程式を使用する。しかし、この場合は、 $D(s) = K_p$ だけである。上で定義されたような $G(s)$ を使用する、利得のみを持つこのシステムの伝達関数は、式

【0313】

【数20】

$$TF = \frac{K_p(s + a)}{s^3 + (b + c)s^2 + (bc + K_p)s + aK_p}$$

で示されている。

【0314】

Routh Analysisは、 $D(s) = 1$ に対するシステムが安定している場合にのみ使用できる。これは、 $D(s) = 1$ のときのシステム特性方程式が安定した根を持つ場合に真である。安定したシステム極、または特性方程式の根は、負の実数値を持つ根であるか、または原点に位置する。以下の式は、 $D(s) = 1$ のときのシステム特性方程式である。

【0315】

$$CE = s(s + b)(s + c) + (s + \quad)$$

CEの以下の極または根は、以下のとおりである。

軸1に対するシステム：

- 467.3563980,
- 8.125425989 - 29.12326516 * I,
- 8.125425989 + 29.12326516 * I

軸2に対するシステム：

- 4142605000e17,
- 56.93350000,
- 1811514786e-12

10

20

30

40

50

軸 3 に対するシステム :

- 4 1 7 . 1 0 8 0 1 2 4 ,
- 1 0 . 8 4 5 7 4 3 7 9 - 3 0 . 1 1 1 2 5 5 9 3 * I ,
- 1 0 . 8 4 5 7 4 3 7 9 + 3 0 . 1 1 1 2 5 5 9 3 I

すべての極は、負の実部を持つので、制御されないシステムは、安定しており、Routh Analysisを使用できる。

【 0 3 1 6 】

特性方程式、または式の分母を使用し、上でTFについて解き、

【 0 3 1 7 】

【 数 2 1 】

10

$$\begin{matrix} s^3 & \overline{a_0 \ a_2} \\ s^2 & \overline{a_1 \ a_3} \\ s^1 & \overline{b_1} \\ s^0 & \overline{c_1} \end{matrix}$$

のようにRouth Analysisを実行するが、ただし、

$$a_0 = 1$$

$$a_1 = (b + c)$$

$$a_2 = (bc + K_p)$$

$$a_3 = \alpha K_p$$

20

$$b_1 = \frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1}$$

$$c_1 = \frac{b_1 a_3 - a_1 * 0}{b_1} = a_3$$

である。

Maple Vを使用して、項 (b₁ * s) をゼロに設定し、次いで、K_p = K_p (m a x) について解く。結果は、以下のとおりである。

軸 1 に対するシステム :

$$K_{p(max)} = 9 . 6 4 1 2 9 3 8 9 4$$

30

軸 2 に対するシステム :

$$K_{p(max)} = . 4 4 0 9 8 8 0 6 0 6 * 1 0 ^ { 1 8 }$$

軸 3 に対するシステム :

$$K_{p(max)} = 1 5 . 6 8 2 9 2 9 3 6$$

これらの結果は、すべてMaple Vを使用して得られた。

【 0 3 1 8 】

Routh AnalysisとともにZiegler - Nicholsチューニング法を使用するために、システム周期も必要だった。システム周期は、s = j、K_p = K_p (m a x) と設定し、式

$$1 (j) ^ 2 + 3 = 0$$

40

を (システム周波数、rad / s) について解くことにより求められた。

次いで、

$$= 2 f$$

である。

そこで、システム周期 (秒) は、

【 0 3 1 9 】

【 数 2 2 】

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

50

となった。

【0320】

その結果得られるシステム周期は以下のとおりであった。

軸1に対するシステム：

$$T = 0.06807959499 \text{ 秒}$$

軸2に対するシステム：

$$T = 0.4087460141 * 10^{-8} \text{ 秒}$$

軸3に対するシステム：

$$T = 0.06256709734 \text{ 秒}$$

K_p 、 K_1 、および K_D に対するZiegler-Nicholsチューニング法の式を使用することで、上で定義されたコントローラ $D(s)$ が設計された。PID制御に対するZiegler-Nicholsチューニング法の式は、

$$K_p = 0.6 K_{p(max)}$$

【0321】

【数23】

$$K_1 \leq \frac{2K_p}{T}$$

$$K_D \geq \frac{K_p T}{8}$$

として示される。

【0322】

K_p 、 K_1 、および K_D に対する結果の値は以下のとおりである。

軸1に対するシステム：

$$K_p = 5.784776336$$

$$K_D = 0.04922815376$$

$$K_1 = 169.9$$

軸2に対するシステム：

$$K_p = 0.2645928364 e 16$$

$$K_D = 1351890.840$$

$$K_1 = 0.1294656473 e 25$$

軸3に対するシステム：

$$K_p = 9.408$$

$$K_D = 0.07357890648$$

$$K_1 = 300.7331456$$

すべてのシステムに対するPID制御のある結果として得られるシステムは、図37に示されているが、ただし、 $G(s)$ 、 K_p 、 K_D 、および K_1 は、定義済みの定数および関数であり、 C は、エンコーダー・カウント単位で示されるモーター位置であり、 R は、エンコーダー・カウント単位で示される入力位置である。

【0323】

これらのPID値が妥当な値であるかどうかを判定する方法の1つは、開ループ伝達関数 $D(s) * G(s)$ の根軌跡プロットを作成することであった。システムの安定性も、この根軌跡プロットから見つけることができた。つまり、根軌跡に対する特性方程式の極または根は、負の実平面内に置かれているべきである。図38Aおよび38Bに示されている、これらのプロットは、Maple Vプログラムを使用して作成される。軸2に対する根軌跡は示されていないことに留意されたい。PID制御値を決定する前の結果を調べると、軸2に対するデータは、予想どおり軸1および3に対するデータに追随しないことが明らかであった。

【0324】

図39Aおよび39Bに示されているように、軸1および3に対する両方のシステムは

、軸 2 に対するシステムと同様に、安定していた。図 3 8 A および 3 8 B を見ると、システムの完全な最適化を行うと、3 つの極の位置が揃えられることがわかる。すべてのシステムは安定しているので、システムへの単位入力に対する時間応答を分析した。もう一度、図 3 9 A、3 9 B、および 3 9 C に示されている応答を決定するために、Maple V プログラムが使用された。図 3 9 A、3 9 B、および 3 9 C において、横軸に時間 (秒) をとり、縦軸にエンコーダ・カウント単位のモーター位置をとる。

【 0 3 2 5 】

図 3 9 A、3 9 B、および 3 9 C に示されているすべての応答は、安定応答であった。しかし、それぞれの場合において、66 パーセントを超えるオーバーシュートがあり、そのようなオーバーシュートは、ロボット・アームの制御には望ましくない。進み遅れ補償器を使用することにより、オーバーシュートは大幅に低減された。

10

【 0 3 2 6 】

進みまたは進み遅れ補償器を使用してシステムの位相マージンを調節することは、システムのオーバーシュート率を一般的に低減する 1 技術である。位相マージンは、負の横軸とシステムのナイキスト図上の点との間の角度であり、大きさは 1 である。大半の場合において、オーバーシュート率を低減するのに約 60 度の位相マージンが最適である。

【 0 3 2 7 】

ナイキスト・プロット・プログラムを使用することで、以下のデータが得られた。

軸 1 に対するシステム：

$$\text{位相マージン} = 180 - 162.9633 = 17.84 \text{ 度}$$

$$\omega_c = 71.999 \text{ rad/s}$$

$$G(j\omega_c) = 1.0007 \sim 1.0$$

$$\angle(\text{added}) = 60 - 17.84 = 42.96 \text{ 度}$$

遅れ補償器による位相損失を補償するために：

$$\angle(\text{added}) = 45.0 \text{ 度}$$

軸 3 に対するシステム：

$$\text{位相マージン} = 180 - 161.90512 = 18.095 \text{ 度}$$

$$\omega_c = 71.999 \text{ rad/s}$$

$$G(j\omega_c) = 1.0007 \sim 1.0$$

$$\angle(\text{added}) = 60 - 18.095 = 41.905 \text{ 度}$$

遅れ補償器による位相損失を補償するために：

$$\angle(\text{added}) = 48.0 \text{ 度}$$

注意すべき点はいくつかある。もう一度、軸 2 に対するデータの結果、軸 1 および 3 のみに対する補償器設計が得られた。また、 ω_c は所望の周波数に変更できる。 $G(j\omega_c)$ および $\angle(\text{added})$ は、その後、選択された ω_c における位相と大きさに応じて変わる。しかし、位相マージンは、同じままである。

【 0 3 2 8 】

進み遅れ補償器を定義するために、それぞれ、式

【 0 3 2 9 】

20

30

【数 2 4】

$$\frac{1}{k} = \left[\tan\left(\frac{\phi_{\text{added}} + 90}{2}\right) \right]^2$$

$$\sqrt{kI} = \omega_c$$

$$\text{lead} = \frac{1}{k} \frac{(s + k)}{(s + 1)}$$

$$\frac{n}{m} = \frac{1}{G(j\omega) \sqrt{\frac{1}{k}}}$$

$$M = \frac{\omega_c}{5}$$

$$\text{Lag} = \frac{n}{m} \frac{(s + m)}{(s + n)}$$

10

が使用された。

【0 3 3 0】

軸 1 および 3 に対するシステムの式 1 1 および 1 2 の結果として得られる補償器は、以下のとおりであった。

20

軸 1 に対する補償器：

【0 3 3 1】

【数 2 5】

$$\text{lead} = \frac{173.82096}{29.82296} \frac{(s + 29.82296)}{(s + 173.82096)}$$

$$\text{lag} = \frac{5.96459}{14.3998} \frac{(s + 14.3998)}{(s + 5.96459)}$$

軸 3 に対する補償器：

【0 3 3 2】

【数 2 6】

$$\text{lead} = \frac{203.9772}{30.0563} \frac{(s + 30.0563)}{(s + 203.9772)}$$

$$\text{lag} = \frac{6.0071}{15.65988} \frac{(s + 15.65988)}{(s + 6.0071)}$$

30

遅れおよび進み補償器は、図 4 0 に示されているように設計に組み込まれる。

【0 3 3 3】

極に比べて原点の近い零点はオーバーシュートを生じるので、進み補償器が、フィードバック内に置かれた。これは、フィードフォワード内に置いた場合、零点は原点と根軌跡プロット内の極との間に置かれるからである。この同じ理由から、遅れ補償器は、フィードフォワード内に置かれた。

40

【0 3 3 4】

システムに対するこれらの補償器の効果を分析した。第 1 に、ナイキスト・プロット・プログラムがもう一度使用された。これは、補償器が位相マージンに対しどのような効果を持つかを調べるために実行された。最後に、単位ステップ入力に対するシステムの応答のプロットが、Maple V プログラム 1 を使用して作成された。

【0 3 3 5】

ナイキスト・プロット・プログラムから結果として得られたデータ：
軸 1 に対するシステム：

50

位相マージン = $180 - 123.88 = 56.12$ 度 @ $= 73.199$ rad / s

軸 3 に対するシステム :

位相マージン = $180 - 120.238 = 59.76$ 度 @ $= 79.599$ rad / s

これは、位相の所望の 60 度に合わせて位相マージンを調節する補償器設計が成功したことの証明となっていた。図 4 1 A および 4 1 B に示されているのは、補償器の追加後の軸 1 および 3 に対するシステムの応答である。これらのプロットは、Maple V プログラムを使用して作成された。ここでもまた、横軸に時間 (秒) をとり、縦軸にエンコーダ・カウント単位のモーター位置をとる。

【 0 3 3 6 】

図 4 1 A および 4 1 B に示されているように、これらの補償器は、オーバーシュート率を大幅に低減した。このオーバーシュート率は、単に 4 パーセント程度に低減されたに過ぎないが、数字としては 66 パーセントを超える大きな改善となっている。

【 0 3 3 7 】

連続的時間領域においてコントローラ設計が完了した後、離散時間領域に変換することができた。これは、デジタル・システムを制御するために必要である。しかし、補償器およびコントローラを離散時間領域に変換するだけでよかった。これがなされると、制御アルゴリズムがコンピュータ・プログラムに導入された。

【 0 3 3 8 】

補償器およびコントローラを離散時間領域または z 領域に変換するために、Tustin 法が使用された。Tustin 法は、線形システムにのみ適しており、式

【 0 3 3 9 】

【 数 2 7 】

$$s = \frac{2(z-1)}{T(z+1)}$$

で示されている関係を導入する。ただし、 T は、コントローラのサンプリング周期を表す。この式をコントローラ、進み補償器、および遅れ補償器に代入すると、式

【 0 3 4 0 】

【 数 2 8 】

$$D(z) = K_p + \frac{2K_p(z-1)}{T(z+1)} + \frac{K_I T(z+1)}{2(z-1)}$$

$$\text{Lead} = \frac{(2z-2+kTz+kT)l}{(2z-2+lTz+lT)k}$$

$$\text{Lag} = \frac{(2z-2+mTz+mT)n}{(2z-2+nTz+nT)m}$$

が得られる。

【 0 3 4 1 】

この実施形態の最後のシステム・ブロック図は、図 4 2 に示されている。

図 4 2 において、 $G(s)$ のゼロ次ホールドから $G(z)$ が得られる。 $G(s)$ から $G(z)$ への変換は、 $TF(z) = C(z) / R(z)$ のモデルが作成された場合にのみ実行される。

【 0 3 4 2 】

設計されたコンポーネントが組み立てられた後、この実施例で使用されるマニピュレーターの制御性と正確さを検証するために試験が実施された。カメラに取り付けられている、マニピュレーターの先端は、図 4 3 に示されている三角形の辺上の 4 点を通して移動すると想定され、位置 1 は、始点および終点であり、距離 1、2 は 39 mm、距離 2、3 は 24 mm、距離 3、4 は 67 mm、距離 4、5 は 29 mm である。

【 0 3 4 3 】

10

20

30

40

50

先端の移動の正確さを試験するために、仮定されたモーター回転角度が制御プログラムに入力された。これらの入力角度は、三角形の辺にそった移動の先端を制御した。表 9 は、4つの異なる点について、モーター回転角度をエンコーダー・カウント単位で示している。エンコーダー・カウントと度の比は、28.9であった。

【0344】
【表9】

表 9

エンコーダー・カウント単位で示される先端の位置					
軸	位置 1	位置 2	位置 3	位置 4	位置 5
1	-2250	-1500	-1250	-2600	-2250
2	360	200	375	-75	360
3	610	1400	1450	2000	610

10

次のステップは、ヤコビアンを使用して次のようにエンコーダー・カウントを x y z 座標に変換することであった。

【0345】
【数29】

$$z = L_1 + L_2 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t_1}{28.9 \cdot 360^\circ}\right) + L_3 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t_2}{28.9 \cdot 360^\circ} + \frac{2 \cdot \pi \cdot t_3}{28.9 \cdot 360^\circ}\right)$$

$$x = -\left[L_2 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t_2}{28.9 \cdot 360^\circ}\right) + L_3 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t_2}{28.9 \cdot 360^\circ} + \frac{2 \cdot \pi \cdot t_3}{28.9 \cdot 360^\circ}\right) \right] \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t_1}{28.9 \cdot 360^\circ}\right)$$

$$z = -\left[L_2 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t_2}{28.9 \cdot 360^\circ}\right) + L_3 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t_2}{28.9 \cdot 360^\circ} + \frac{2 \cdot \pi \cdot t_3}{28.9 \cdot 360^\circ}\right) \right] \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t_1}{28.9 \cdot 360^\circ}\right)$$

20

$L_1 = 83 \text{ mm}$ 、 $L_2 = L_3 = 59.5 \text{ mm}$ 、および t_1 、 t_2 、 t_3 は、軸 1、2、および 3 のエンコーダー・カウント単位のモーター角度を表す。

【0346】

以下の表 10 に示されているのは、4つの異なる点に対する x、y、および z 座標の結果である。

【0347】
【表10】

30

表 10

x、y 座標による先端の位置					
	位置 1	位置 2	位置 3	位置 4	位置 1
X	9.62	34.6	48.4	0.03	9.62
Y	44.7	44.16	45.52	51.916	44.7
Z	190.67	175.9	167.8	166.1	190.67

次いで、式

【0348】
【数30】

40

$$Dist = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

を使用して、4点の間の距離が計算された。

【0349】

実際のエンコーダーの読み取り値は、マニピュレーター先端の移動を示すことがわかった。以下の表 11 に示されているのは、4点の間の距離である。図 4 4 は、マニピュレーターの移動は、時間に関して直線的である、つまり、先端の速度は一定であることを示している。

【0350】

50

【表 1 1】

表 11

	点の間の距離			
	位置 1-位置 2	位置 2-位置 3	位置 3-位置 4	位置 4-位置 1
測定された変位	39 mm	24 mm	67 mm	29 mm
計算された変位	29 mm	16 mm	48 mm	27.4mm
誤差	25.64%	33.3%	28.36%	5.5%

測定された変位と計算された変位との間の差は、両者の間に大きな誤差のあることを示している。これは、リンク長 L_1 、 L_2 、および L_3 の測定における複数の誤差源のせいであり、またエンコーダー・カウントと度数との推定される比によるものであった。機械的誤差の発生源は、歯車噛み合いにおけるバックラッシュである。

【実施例 3】

【0351】

方法と材料

現在の研究の目標は、モバイル・ロボットを、食道裂孔を通して腹腔内に導入することが可能であることを実証することである。

【0352】

この研究では、食道胃十二指腸内視鏡 (EGD) 制御の下で経胃探索を行うことができる、図 4 5 に示されているモバイル・ロボット装置を使用した。このロボットは、直径 1.2 mm、長さ 35 mm であった。らせん状のホイール・プロファイルであるため、組織を傷つけることなく機動性に十分な牽引力がもたらされる。2つの独立のモーターで、ホイールを制御しており、これにより、前進、後退、および回転の機能が実現された。ロボットのテールは、ホイールが回転しているときにロボット本体の逆回転を防いだ。ロボットの全長は 75 mm であった。ロボットは、ブタの外科手術時の動力用に繫留された。

【0353】

動物モデルとして麻酔されたブタが使用された。手術の 36 時間前に、27.22 kg (60 ポンド) のブタにゲータレードと水を与えた。標準の上部内視鏡を用いて殺菌済みオーバーチューブをブタの胃の中に送り込んだ。胃は、抗生物質溶液で洗浄された。

【0354】

ロボットが、オーバーチューブを通して腹腔内に挿入された。ロボットは、図 4 6 に示されているように腹腔内を探索し、次いで、経胃切開部を通して腹腔内に挿入された。胃切開は、図 4 7 に示されているように内視鏡針尖刀を使用して実行された。切開部は、直径 1.2 mm のロボットが通過できるだけの十分な大きさであった。ロボットが腹腔に入った後、内視鏡を送り込み、腹部環境を探索しつつモバイル・ロボットを観察した。図 4 8 および 4 9 に示されているように腹腔内の探索の後、ロボットは、胃腔内に引き込まれた。経胃切開の内視鏡的閉鎖術は、図 5 0 に示されているように、2つの内視鏡用クリップと1つの内視鏡用ループを使用して成功した。次いで、ロボットは、図 5 1 に示されているように、食道を通して引き戻された。

【0355】

結果

腹腔内に挿入した後、モバイル・ロボットは、EGD 制御の下で (内視鏡からの視覚フィードバックを使用して) 腹腔内全体にわたって操縦に成功した (図 4 6 を参照のこと)。ロボットのサイズは、その運動を妨げることはなく、ホイール設計は、胃腔全体を横断するのに十分な牽引力をもたらすものであった。胃探索の後、小型ロボットを腹腔内に配備し、遠隔制御により操縦し、外科手術チームはロボットを制御して、胃腔内の清掃に成功した。

【0356】

モバイル・ロボットは、肝臓 (図 4 8 を参照) および小腸 (図 4 9 を参照) を含む、腹

10

20

30

40

50

腔全体を横断することができた。この探査は、内視鏡により監視された。

腹腔を探査するのに成功した後、モバイル・ロボットは、胃腔内に引き込まれた。胃切開部の閉鎖は、内視鏡用クリップおよび1つの内視鏡用ループを使用して正常に行えた。小型ロボットの取り出しは、内視鏡用スネアを使用して難なく実行できた。

【0357】

皮膚切開せずに腹部外科手術を実行できるため、患者の外傷が軽減されうる。しかし、EGDビデオ・フィードバックのみを使用してこれらの手術を実行すること、および腹腔内に十分な機能を持つツールを導入することには困難が伴う。経胃的ロボット補助手段を腹腔内に入れる方法は、これらの問題を一部解決するのに役立つ。ロボットは、内視鏡挿入の長さまたは角度により制約されないため、定義上、さらに大きな自由度を持つ。内視鏡の作業用経路も、外科医が利用できる実装のサイズと種類を制限する。そのため、小型ロボットは、さまざまな外科手術を実行することが可能であり、および/または内視鏡もしくは他の外科装置と併用し、腹腔内の視認性を高め、またその機動性を向上させることができた。一実施形態によれば、本発明の管腔内ロボットは、カメラおよびマニピュレーターを備えることができる。これらのロボットは、外科手術を補助することができる。さらに、ロボット群は、食道を通して挿入された後、胃腔および腹腔内で連携して作業することができる。このような技術は、外科手術の柔軟性を高めつつ、患者の外傷を低減するのに役立つ。

【実施例4】

【0358】

本発明の実施例では、腹部探査および胆嚢摘出術の単独の視覚フィードバックを得るためにモバイル・カメラ・ロボットを使用することが有効かどうかを調べた。

方法と材料

本実施例では、図1に示されている装置と似たモバイル・ロボット・カメラ装置が、使用された。装置は、直径20mmであり、オンボードの焦点調達可能ビデオ・カメラ・システムを組み込んでいた。2つのDCモーターは、それぞれのホイールを独立制御しており、これにより、ロボットは前進、後進、および回転の機能を持った。この50グラム装置は、長さ100mmで、らせん状のホイール・プロファイル、および安定化用のテールを備えた。このテールは、移動方向を逆にするときにテールを持ち上げて反転することができるようにする設計であった。これにより、装置は、ホイールの位置を変えずにカメラを15度傾けることができた。装置は、動力用に繫留された。

【0359】

装置は、加工されたトロカールを通して、麻酔されたブタ体内に挿入され、次いで、腹腔は、炭酸ガスを送気された。トロカールは、装置の20mmの直径を収納できるように設計された。代替実施形態によれば、装置は、標準の15mm腹腔鏡的トロカールを使用する。次に、標準トロカールが挿入され、追加のツール・ポートを設けた。標準腹腔鏡を受け入れるように、第3のポートも作成された。モバイル・ロボット装置のカメラ用の照明を設けるために、腹腔鏡が使用されたが、外科医は、手術中、腹腔鏡からの視覚フィードバックを使用しなかった。

【0360】

結果

図52に示されているように、追加のトロカール挿入および腹腔鏡ツール配置の計画を立て、観察するのを補助するため、外科チームはこの装置を使用した。装置のカメラからの複数の達成可能な画像を用いることで、外科医は、動物の腹壁内にトロカールを安全にかつ適切に計画、配置することができた。

【0361】

この装置は、さらに、図53に示されているように、腹腔を探索するためにも使用された。ホイールによる機動性があるため、外科医は、腹腔内のさまざまな領域を探索することができ、その一方で、外科医は、焦点調節可能カメラを使って、注目する領域の特定の部分に集中することができた。これらの映像による手掛かりを使用することで、外科医は

、腹部環境を安全に、効果的にナビゲートできた。腹腔内で操縦できるため、標準腹腔鏡では利用できない基準および視点の追加のフレームがもたらされた。

【0362】

最後に、図54に示されているように、外科医が利用できる視覚フィードバックのみを返す装置で、胆嚢摘出術が実施された（つまり、外科医は腹腔鏡からのビデオを見なかった）。装置がホイールの位置を変えずに焦点調節可能カメラを15度傾けることができるという事実は、肝臓を引き込めながらきわめて有用であることが実証された。カメラ・システムの焦点調節可能機能により、外科医は深さを適切に把握することができた。

【0363】

議論

このように実験が成功したことで、生体内カメラ・システムを視覚フィードバックの単独の供給源として使用することによりふつうの腹腔鏡手術を実施することが可能であることが実証された。これは、カメラ・ポートを必要なくし、代わりに、ツール・ポートの1つを通して、この実施例で使用される装置などのモバイル生体内カメラ・ロボットを挿入することにより患者の外傷を低減することが可能である。

【実施例5】

【0364】

この実施例は、モバイル・ロボット装置の診査バイオプシー・ツール設計である。装置は、ブタ組織の生検を行うのに十分な締め付けおよび牽引力を発生すべきである。

生検時に使用される締め付けおよび牽引力を調べるために、実験的生検が実施された。食道胃十二指腸内視鏡検査（EGD）および大腸内視鏡検査のときに行われる組織標本採取に通常使用される生検鉗子装置は、組織生検時に切断力を測定するように修正された。図55Aに略図が示されているこれらの鉗子560は、近位端上にハンドル/レバー・システムを備える遠位端上の把持器562から成り立っていた。ハンドル564の片側に弾性チューブ566が貼り付けられ、他端は、生検把持器562の支点568に取り付けられた。把持器562を作動させるために、チューブ566内でプラスチック（テフロン（登録商標））で包まれたワイヤー570が使用された。このワイヤー570は、ハンドル・レバー564の自由端に貼り付けられ、また把持器レバー・アーム572の端部に他端のところで貼り付けられた。ハンドル・レバー564を作動させると、ワイヤー570が、チューブ566に関して平行移動し、生検把持器562を作動させた。鉗子の先端には、標本採取時に組織を貫通する小さなスパイク574を備えた。

【0365】

図55Aに示されている鉗子の直径（h）は2.4mmであった。c、g、およびfの寸法は、それぞれ、2.1mm、2.0mm、および6.7mmであった。鉗子がほぼ閉じたときに把持器の先端に生じる力は、鉗子の幾何学的設計に応じて異なっていた。

【0366】

【数31】

$$F_{tip} = F_{cable} \left(\frac{d}{a+b} \right)$$

10Nのケーブル力に対して、先端の力は、この設計ではaを2.9mm、bを1.7mm、dを0.65mmとして約1.4Nであった。生検時に組織と接触する鉗子の最大面積は、0.3756mm²であった。

【0367】

【数32】

$$P_{contact} = \frac{F_{tip}}{A_{contact}}$$

力が均等に分配されると仮定すると、加圧は約3.75MPaであった。しかし、小さな「バイト」を取るにより、接触面積が低減され、圧力は劇的に高められ、必要な力

10

20

30

40

50

が減少した。

【0368】

通常の生検装置は、図55Bに示されているように、締め付け力を間接的に測定するためにロード・セル582を含むように修正された。このツールに加えられた修正は、ワイヤー586が図55Bに示されているように作動されたときに引張力を測定するようにワイヤー586と直列にロード・セル582を置くためにチューブ584およびワイヤー586を切断することを含んでいた。チューブの2つの自由端を接続しシステムの構造を保持するようにプラスチック・ケース588が製作されたが、ただし、ワイヤー586は、ロード・セル582の自由端に貼り付けられた。この設計を使用することで、ケーブルの力が測定された。上記のモデルを使い、ブタ・モデルを使用して生体内組織の集まりを標本採取しながら把持器の先端の力が推定された。

10

【0369】

ケーブル力の測定は、麻酔されたブタの肝臓、網、小腸、および腹壁の標本採取をしながら行われた。肝生検に対する代表的な結果は、図56Aおよび55Cに示されている。1試験において、図56Aに示されている結果により、初期に生じた負のオフセットは、生検前に把持器の顎を押し開くケーブル内のわずかな圧縮のせいであった。3つの標本についてブタ肝臓を生検するための平均最大測定力は、 12.0 ± 0.4 Nであった。他の試験では、図56Cに示されている結果により、3つの標本についてブタ肝臓を生検するための平均最大測定力は、 9.0 ± 0.3 Nであった。これらの結果は、ブタ肝臓を切断する十分な力に関して公表されている他の結果（例えば、非特許文献5参照）による大きさと一致している。

20

【0370】

一般に、生検鉗子は、組織を完全には切断しない。その場合、鉗子は軽く引っ張られて、標本を解放する。この抽出力は、さらに、生検ロボットにおいて発生する必要がある。標本を解放する十分な牽引力を発生するロボット設計となるように、抽出力の大きさが決定される必要がある。

【0371】

実験室試験治具を組み立てて、ウシ肝臓の生検標本を解放するのに必要な力を測定した。生検鉗子で標本を締め付けた後、引張力を記録しながら、装置のハンドルに取り付けられているロード・セルを軽く引っ張って標本を解放した。図56Bに示されている代表的な結果から、生検鉗子を使用してウシ肝組織を抽出するには約0.6 Nの力が必要であることがわかる。

30

【0372】

示されているように、組織の完全な切断は、めったに達成されず、標本を採取するのに標本の一部を裂く必要がある。生検標本を採取するために、本発明の実施例の生体内ロボット実施形態は、標本を引っ張って解放するのに十分な牽引力を発生すべきである。図9Aおよび9Bに示されている装置に類似の生検ロボットは、生体内で試験され、切除されたウシ肝臓を使って牽引力が測定された。生検把持器（ロボットのテール）が、静止しているロード・セルに取り付けられた。図57に示されている結果が得られた第1の試験では、ロボット速度をゆっくり上げて、牽引力を記録した。11秒程度で、最大牽引力に達した後、ロボットのホイールの動作が停止された。結果から、ロボットは、約0.9 Nの牽引力を発生することができたことがわかった。この力の量は、図56Bに示されているように、実験室での測定による0.6 Nの目標値よりも50%大きい。したがって、この牽引力は、標本抽出に十分である。

40

【0373】

図58に示されている結果が得られた第2の試験では、最初にロボット速度をゆっくり上げ、次いで下げて、牽引力を記録した。ホイール・モーターに印加されるパルス幅変調電圧信号は、最初の20秒間に、0%から100%まで直線的に上昇し、次いで、次の20秒間に、0%に戻った。この試験は、5回実施された。暗色の線は、5つの試験すべての平均である。この試験の結果から、試験されたロボットは、約0.65 Nの牽引力を発

50

生することができることがわかった。この力の量は、実験室での測定による0.6Nの目標値よりもおよそ10%大きい。

【0374】

図59に示されているように、生検把持器およびこの実施例で説明されている実施形態のカメラを駆動する作動機構も開発された。送りネジ602がスライダ608に通された。次いで、送りナット604を、把持器610閉鎖点で、発生力が非常に大きくなる（つまり、0°で、0°に近づく）機構の特異点にリンケージ606が近づくように十分遠くまで平行移動させることができた。スライダ608は、中空に近い円筒であり、送りナット604およびリンケージ606は、リンケージがその特異点に近いところにあるときにスライダ608の内側にある。把持器ワイヤ612は、カメラのレンズまたはイメージ・センサーのいずれかのようにスライダ608に取り付けられる。これにより、カメラは生体内環境において必要な焦点調節機能を備えることになる。

10

【0375】

リンケージ606は送りナット604の垂直方向運動をスライダ608の水平方向平行移動に変換するので、直流モーター600は送りネジ602を垂直方向に駆動する。これは、把持器がほぼ閉じられた時点で大きな機械的利点をもたらす効果を有する。

【0376】

力の測定は、この実施例の生検ロボット実施形態を使用して発生させることが可能な最大量の力を決定するために実験室で行われた。これらの試験の代表的結果は、図60に示されている。3つの標本について発生する平均の最大の力は、 9.6 ± 0.1 Nであった。この力は、本明細書で説明されているように1生体内試験において測定された12Nに比べて約16%小さく、本明細書で説明されているように第2の生体内試験において測定された9Nに比べて約7%大きかった。しかし、12Nは、単に、加えられた力を表しているに過ぎない。これは、組織を生検するのに必要な最小の力を表さない。理論の制限を受けることなく、外科医は、生検を実行し、力を大きくし続けて、単に標本を「圧搾」したに過ぎないことが、ありえそうである。外科医は、最小の力ではなく十分な力であることが知られている力を加えた。必要な力は、さらに、単により小さな生検標本を採取することで大きく低減することができた。接触面積を16%だけ縮小すると、同じ負荷応力が生じる。

20

【0377】

本明細書で説明されている実施形態による生体内移動性試験から、本発明の実施形態のホイール設計は腹部環境内で操縦する十分な牽引力を発生し、これによりロボットが腹部器官（肝臓、脾臓、小腸、および大腸）のすべてを横断するだけでなく、その高さの2倍から3倍の高さまで器官を登ることができることがわかった。これらの試験は、目に見える組織の損傷を引き起こすことなく実施された。これらの試験の1つにおいて記録されたビデオを使用して、ロボットが横断する経路を再構成したが、その一部が図61に示されている。示されている移動の長さは、約0.5mであるが、補助なしで試験時に移動した全距離は、約1mであった。

30

【0378】

腹部環境を探查した後、この実施例で説明されている生検機構を使用して、動物の肝臓から肝組織の3つの標本を採取した。好適な標本採取部位を見つけるために、ロボット・カメラが使用された。生検把持器を開き、生検鉗子のスパイクを標本採取部位に刺し通した。次いで、把持器を作動させた。これにより、組織標本のほぼすべてが切り離された。次いで、ロボットは、標本採取部位からゆっくり遠ざけられ、これにより組織標本を引き離す。次いで、この組織標本は、導入切開を通してロボット抽出した後取り出された。これは、一実施形態により、1ポート生検が成功したこと、また生体内ロボットによる組織マニピュレーションに成功したことを実証している。

40

【実施例6】

【0379】

2つの薬物貯蔵容器を組み込んだ実験室2成分薬物送達システムが、図62に示されて

50

いる。薬物成分を液体形態で保持するために、標準注射器を改造して作られた流体貯蔵容器が使用される。固体貯蔵容器は、第2の薬物成分を粉末形態で貯蔵する。プランジャーに力が加えられると、固体成分を保持する貯蔵容器内を液体成分が流れる。次いで、混合工程が完了した室内に、部分的混合された溶液が流れ込む。次いで、活性化成分が、送達ノズルを通り標的部位へと流れる。

【0380】

このシステムが薬物の液体成分と固体成分とを適切に混合することができることが、一連のベンチトップ実験で評価された。液体薬物成分と固体薬物成分は、一般に入手可能な材料（例えば、コーンスターチ、染色食塩水など）を使用してシミュレートされた。混合効率の視覚的計量の1つは、画像処理ソフトウェアを使用して混合物のRGB色成分を測定することにより決定されるような混合物の色の一様さである。代表的な結果は、図63に示されている。左および右の画像は、それぞれ混合前の固体成分および液体成分に対するRGB値を示す。中央の画像は、結果の混合物を示している。混合物の2つの代表的領域に対するRGB色値の類似度は、2つの成分の一様な混合を示す。

10

【0381】

このような種類の薬物送達ツールに組み込むことが可能な作動機構により加えられうる力を測定するために、ベンチトップ試験も実施された。機構の1種類では、モーター軸上に取り付けられている送りネジとともに永久磁石直流モーター（マイクロモ（Micro Mo）、2005）を使用することが可能であった。送りネジの回転は、流体貯蔵容器プランジャーに取り付けられている送りナットを出入りさせ、2つの薬物成分を分注する。この概念は、プランジャー186を移動するモーター184により生み出される外力を測定するためのロード・セル182を備える、図12に例示されている試験治具180で実現された。力の測定は、この種類のアクチュエータ設計を使用して発生させることが可能な最大の力を決定するために実験室で行われた。これらの試験からの代表的な結果は、発生した平均の最大の力は、約10.0Nであることを示している。

20

【0382】

ナーゲルシュミット（Nagelschmidt）（1999年）は、長さ27cm、直径1mmのカテーテルを通して、フィブリンをベースとする止血剤を混合し、分注するのに必要な最大の力は、5N未満であることを発見した。これらの結果は、上記の作動機構が、2成分のフィブリンをベースとする止血剤を送達するのに十分な力を発生することを強く示唆している。

30

【実施例7】

【0383】

この実施例は、一実施形態によるロボット・カメラ装置と標準腹腔鏡カメラとの画質の定量的比較を示すものとなっている。変調伝達関数（MTF）、色再現、および画像歪みの調査を含む、生体内ロボットと標準腹腔鏡の両方の画像解析結果が提示されている。次いで、立体3次元再構成が生体外実験で解析される。最後に、動物モデルにおける胆嚢摘出術の際の生体内立体撮像ロボットの使用が実証される。これらの結果は、これらの生体内装置が、標準腹腔鏡と遜色のない、腹腔鏡検査法に十分な腹腔鏡検査手順の視覚化を行えることを示唆している。

40

【0384】

この実施例で試験される装置が、図64Aに示されている。この装置は、生体内操作環境の3次元画像を手術者に見せるための立体表示ディスプレイとともに使用することができる立体カメラ・ペアを有する。

【0385】

単一カメラの比較

この調査では、撮像装置は、マイクロン社（Micron）のカラー・デジタルCMOSイメージ・センサーであった。さらに、使用された腹腔鏡は、すべてカール・シュトルツ有限合資会社（Karl Storz GmbH & Co. KG）[ドイツ、ツットリンゲン（Tuttlingen）所在]によって製造されているTricam（商標

50

) S L N T S C 制御ユニットおよびキセノン 175 光源を備える装置である。

【0386】

視覚的計量は、多くの場合、多数の一般に入手可能なデジタル撮像装置の画質の差を定量化するために使用される。このような計量の1つは、光学系とデジタル撮像システムの両方に対する計量として使用される確立されている変調伝達関数 (M T F) である。この伝達関数は、所定の撮像システムが周波数領域測定を使用して表示できる細部の量を測定するものである。この計量は、通常、1 mm 当たりの線対数 (l p / m m) または1ピクセル当たりのサイクル数 (c / p) などの空間周波数の単位で表される。M T F 試験に使用される視覚目標は、196 mm x 120 mm (7 . 7 5 インチ x 4 . 7 5 インチ) を測定する、K o d a k 写真用紙に印刷された I S O 1 2 2 3 3 解像度チャートである。

10

【0387】

色精度は、もう1つの重要な画質計量である。色精度を測定する方法の1つは、M a c b e t h カラー・チャートを使用するものである。このチャートは、24のゾーン、18色、および6階調グレースケールを有する。色誤差測定に使用される目標チャートは、M i n i C o l o r C h e c k e r (商標) である。C o l o r C h e c k e r (商標) は、82 mm x 57 mm (3 . 2 5 インチ x 2 . 2 5 インチ) を測定する標準 M a c b e t h (商標) カラー・チャートである。

【0388】

生体内撮像ロボットの性能を定量化し、比較するために、これらの両方の計量とともに歪みの標準尺度が使用される。歪み試験のため、I m a t e s t (商標) アプリケーションから正方形のグリッドが生成され、レーザー・プリンターを使って印刷された。I m a t e s t (商標) は、さまざまな種類の撮像システムを評価するために使用できるソフトウェア・パッケージである。

20

【0389】

同じ実験装置で、すべての撮像試験 (M T F 、 色誤差、歪み) が実施された。この実験装置では、撮像目標を撮像装置 (生体内カメラおよび腹腔鏡) に関して固定された距離および向きに保持する。距離および向きは、外科手術用途 (胆嚢摘出術) に合うように選択された。周辺光のない外科手術用のマネキンの内側で実験が実施された。それぞれの撮像装置は、それ専用のそれぞれの光源 - 腹腔鏡用の外部キセノン光ファイバー光源およびロボット・カメラ用の2個の10キャンドル形白色 L E D - を使用した。両方のシステムからのビデオ出力は、アナログ N T S C (N a t i o n a l T e l e v i s i o n S y s t e m s C o m m i t t e e) コンポジットである。ラップトップ P C に接続された、S e n s o r a y M o d e l 2 2 5 0 U S B 2 . 0 フレーム・グラバーを使用して、ビデオのフレームをキャプチャし、後から解析した。

30

【0390】

M T F 試験

変調伝達関数 (M T F) は、撮像システムの画質評価を実行するため広く使用されている計量である。M T F は、撮像システムの空間分解能の1尺度である。M T F は、画質の評価のため I S O 1 2 2 3 3 解像度チャートとともに使用された。このチャートは、生体内カメラおよび腹腔鏡の両方を使って撮像された。チャートは、150 mm の距離のところにあるイメージ・センサーと平行に置かれた。複数の静止画像がキャプチャされ、解析された。変調伝達関数は、

40

【0391】

【数33】

$$MTF(v) = \frac{M_1}{M_0} \quad (1)$$

として定義され、ただし、 M_1 および M_0 は、それぞれ、画像の変調および対象の変調である。変調は、

【0392】

50

【数34】

$$M = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{Y_{\max} + Y_{\min}} \quad (2)$$

で定義され、ただし、 Y_{\max} は、輝度の最大値であり、 Y_{\min} は、輝度の最小値である。すべての空間周波数にわたる MTF のプロットが、システムの MTF を定義する。MTF は、システムのインパルス応答のフーリエ変換を計算することにより求められる。インパルス応答は、エッジ応答の微分である、狭線に対する応答である。

【0393】

これらの MTF 曲線は、図 64B でプロットされている。ここで、MTF 値が高ければ高いほど、性能が優れていることを示す。図 64A に示されているように、腹腔鏡は、ほとんどの周波数において比べるわずかによい応答を示す。

【0394】

【表12】

表 12 色誤差

	平均誤差	RMS 誤差
生体内カメラ	9.76	11.5
腹腔鏡	17.5	19.4

色精度

2つのシステムの色精度は、Macbeth Color Checker (商標) を使用して測定された。Color Checker (商標) は、一様な照明下に置かれ、複数の静止画像がキャプチャされ、複数の静止画像上で結果が平均された。次いで、Imatest (商標) アプリケーションにより、試験画像が CIE L A B 色空間に変換された。CIE L A B 空間は、人間の色知覚に基づく。これは、3次元空間であり、 L^* は明度、 (a^*, b^*) は色情報を示す。CIE L A B 空間は、色差の指定を、直線的方法で行えるようにレイアウトされた。Imatest プログラムは、目標チャート内のカラー・パッチ毎に、それぞれの試験画像色値を知られている色値と比較する。この差の式は、

【0395】

【数35】

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

で与えられる。

【0396】

これらの色差のプロットは、図 64C (生体内カメラ) および 64D (腹腔鏡) に示されている。これらのプロットは、理想色値および実際の色値を示し、CIE L A B 色空間内にプロットされる。平均および RMS 色誤差も示されている。これらの結果は、表 12 にまとめられている。カラー・ゾーン数についてプロットされた、それぞれのシステムに対する色誤差が、図 64E に示されている。表 12 および図 64E に取りあげられているデータは、ロボット・カメラ装置が、腹腔鏡に比べて著しく小さい色誤差を有していたことを示している。

【0397】

歪み

歪みは、直線を湾曲しているように見せる効果である。半径方向成分と接線方向成分の組合せである、レンズの歪みをモデル化するために、無限級数を使用することができる。しかし、通常は、半径方向の歪みのみを考慮すればよく、1つの項でモデル化できる。これは、

【0398】

10

20

30

40

50

【数 3 6】

$$r_u = r_d(1 + \kappa_1 r_d^2) \quad (4)$$

のようにモデル化されうる。この式は、無歪み半径 r_u と歪み半径 r_d の関係式となっている。歪みのこの 1 項モデルは、パラメータ κ_1 の符号に応じて、樽形歪みまたは糸巻き歪みと呼ばれる。これらの試験に関して、 κ_1 の値が低ければ低いほど、カメラ・システムの歪みは小さい。

【0399】

腹腔鏡および生体内カメラに対するレンズの歪みの例が、図 6 4 F (腹腔鏡) および図 6 4 G (ロボット・カメラ装置) に示されている。使用される試験目標は、正方形のグリッド・パターンである。画像から明らかなように、腹腔鏡は、著しい半径方向歪みを有する。ロボット・カメラ装置は、歪みが非常に小さい。これらの数値結果は、このことを定量的に確認するものとなっており、また表 1 3 に示されている。

10

【0400】

単一カメラの比較の説明

M T F 試験では、腹腔鏡は、生体内システムに比べてよい結果を出した。これは、たぶん、生体内システム内の低品質の光学系の制限により引き起こされているが、それというのも、システムの M T F が、システムのそれぞれのコンポーネント (レンズ、撮像装置など) に対する M T F の積となるように定義されているからである。これらの装置の設計では、生体内システムの物理的サイズが小さいことを考慮して、空間に関して光学系の品質を犠牲にしなければならない。腹腔鏡システムは、光学系が生体内に配置されず、代わりに光ファイバーが腹腔鏡先端から高精度の光学計測器まで伸びているため、比較的高品質の光学系を持つことができる。しかし、このことは、腹腔鏡が、生体内ロボット装置よりも優れていることを意味しない。空間分解能の差は、2 つのシステムの主観的差を引き起こすほどには大きくない場合がある。ここで説明されている生体内ロボットは、歪み試験において従来の腹腔鏡を凌ぐ。腹腔鏡の歪みが大きいと、手術時の定量的面積測定が困難になる。生体内ロボットは、こうした問題に患わされない。

20

【0401】

【表 1 3】

表 13 半径方向歪み

	K_1
生体内カメラ	0.06
腹腔鏡	0.35

30

生体外立体画像解析

立体表示ディスプレイにより、奥行きを知覚することができるため、腹腔鏡外科手術ではきわめて有益である。図 6 4 A に示されているロボット・カメラ装置は、上記のマイクロン社 (Micron (商標)) 製イメージ・センサーの 2 つを含む。この節では、立体撮像性能を定量化するベンチトップ実験室研究の結果を説明する。

40

【0402】

生体外立体撮像実験装置が、図 6 4 H に示されている。目標は、公知の、正確な寸法の複数の円筒形および球形を持つ機械加工されたアルミニウム製ベースである。このロボット・カメラ装置は、図 6 4 A に示されているのと同じ装置である。

【0403】

これらのカメラの幾何学的形状は、図 6 4 I に詳細に示されている。この公知の幾何学的形状を使用して、両方のカメラの視野内にある対象の 3 次元空間座標を決定することができる。図 6 4 I は、 f の視野を持つカメラで見える obj というラベルが付けられている点対象の幾何学的形状を示している。カメラは、 N 個のピクセルを有し、これらのピクセルはそれぞれ、カメラから点対象と同じ距離 y_{obj} のところで水平 $i = 1 \dots$

50

N内に射影されうる。点対象は、ピクセル $i = n$ で示されている。ここで、ピクセル $i = 1$ および $i = N$ は、その距離のところで見える最も広い点群 ($-x_{max}$ と x_{max} のところ) を示している。

【0404】

y_{obj} により与えられる obj の y 座標 (および虚部射影上のすべての点) は、視野角 θ_f と線分の長さ d により表すことができる。

【0405】

【数37】

$$y_{obj} = d \cos\left(\frac{\theta_f}{2}\right) \quad (5)$$

10

同様に、値 x_{max} は、

【0406】

【数38】

$$x_{max} = d \sin\left(\frac{\theta_f}{2}\right) \quad (6)$$

で表される。

【0407】

対象の x 座標は、 x_{max} と、 obj の水平ピクセル位置であるピクセル n を使用して見つけれられる。

20

【0408】

【数39】

$$x_{obj} = \left(\frac{2n}{N} - 1\right) x_{max} = \left(\frac{2n}{N} - 1\right) d \sin\left(\frac{\theta_f}{2}\right) \quad (7)$$

x_{obj} および y_{obj} の値を使用して、対象の角度 θ_{obj} を見つけることができる。この代入により、未知変数 d を消去する。

【0409】

【数40】

30

$$\begin{aligned} \theta_{obj} &= \tan^{-1}\left(\frac{y_{obj}}{x_{obj}}\right) \\ &= \tan^{-1}\left(\frac{d \cos\left(\frac{\theta_f}{2}\right)}{\left(\frac{2n}{N} - 1\right) d \sin\left(\frac{\theta_f}{2}\right)}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\left(\frac{\theta_f}{2}\right)}{\left(\frac{2n}{N} - 1\right)}\right) \quad (8) \end{aligned}$$

最後に、対象の「勾配」 S_{obj} は、単純に、 obj のアークタンジェントである。

【0410】

40

【数41】

$$S_{obj} = \tan^{-1}(\theta_{obj}) = \frac{\tan\left(\frac{\theta_f}{2}\right)}{\left(\frac{2n}{N} - 1\right)} \quad (9)$$

立体カメラの両方における対象について勾配 S_{obj} が求められたら、対象の x および y 位置を決定することができる。図65は、ベースライン (距離) D および傾斜角 θ_t を有する、2つのカメラ構成の幾何学的形状を示している。

50

【0411】

対象の距離の値 x および y に対する座標系は、2つのカメラの間に直接ある1つの点を中心とする。これにより、左と右のカメラの x 座標が、 $-D/2$ と $D/2$ にそれぞれ設定される。直線 $y = 0$ は、両方のカメラの像平面である。最後の式を使って、左と右の両方のカメラについて対象の「勾配」 S_L および S_R を求めることができる。 I_L および I_R は、カメラの「勾配」がシステム y 軸と交差する左および右の y 切片である。

【0412】

$$y = S_L x + I_L \quad (10)$$

$$y = S_R x + I_R \quad (11)$$

それぞれの式の中で $y = 0$ と設定し、それぞれの式の中の知られている x 座標 ($-D/2$ および $D/2$) を使用して、 I_L および I_R は、

【0413】

【数42】

$$I_L = S_L \left(\frac{D}{2} \right) \quad (12)$$

$$I_R = S_R \left(\frac{-D}{2} \right) \quad (13)$$

のように求めることができる。

【0414】

それぞれの直線の勾配は、(9) から求められる。

【0415】

【数43】

$$S_R = \frac{\tan\left(\frac{\theta_f}{2}\right)}{2\frac{n_R}{N}-1}, \quad S_L = \frac{\tan\left(\frac{\theta_f}{2}\right)}{2\frac{n_L}{N}-1} \quad (14)$$

(10) および (11) において $x = x_{obj}$ 、 $y = y_{obj}$ と置き、 x_{obj} について解くと、(15) が得られる。

【0416】

【数44】

$$x_{obj} = \frac{I_L - I_R}{S_R - S_L} \quad (15)$$

同様に、 y_{obj} について解くと、(16) が得られる。

【0417】

$$y_{obj} = S_L x_{obj} + I_L = S_R x_{obj} + I_R \quad (16)$$

カメラが回転される場合、カメラは対象の様子が比較的良好に見える生体内撮像ロボット内にあるので、3つの新しい変数 t (カメラの回転角)、 x および y (回転によるカメラのシフト) が導入される。ここで、回転角は、両方のカメラについて等しいと仮定される。新しい位置は、

【0418】

【数45】

$$\begin{bmatrix} 1 \\ S_R \end{bmatrix}$$

および

【0419】

10

20

30

40

【数 4 6】

$$\begin{bmatrix} 1 \\ S_L \end{bmatrix}$$

が元の勾配を有するベクトルである回転行列を使用して求めることができる。

【0 4 2 0】

【数 4 7】

$$\begin{bmatrix} x_{R,Rot} \\ y_{R,Rot} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ S_R \end{bmatrix} \quad (17)$$

10

$$\begin{bmatrix} x_{L,Rot} \\ y_{L,Rot} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & \sin(\theta_i) \\ -\sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ S_L \end{bmatrix} \quad (18)$$

次いで、回転されたフレーム内の勾配は、(19)および(20)に示されているようにそれらの回転された位置から決定されうる。

【0 4 2 1】

【数 4 8】

$$S_{R,Rot} = \frac{y_{R,Rot}}{x_{R,Rot}} \quad (19)$$

20

$$S_{L,Rot} = \frac{y_{L,Rot}}{x_{L,Rot}} \quad (20)$$

シフト x および y を使用して、(10)および(11)から新しい切片が、

【0 4 2 2】

【数 4 9】

$$I_{L,Rot} = \left[S_{L,Rot} \left(\frac{D - \Delta x_L}{2} \right) \right] + \Delta y_L \quad (21)$$

$$I_{R,Rot} = - \left[S_{R,Rot} \left(\frac{D + \Delta x_R}{2} \right) \right] + \Delta y_R \quad (22)$$

30

のように求められる。

【0 4 2 3】

最後に、 x および y 座標が、新しい勾配と切片を(15)および(16)に代入することにより求められる。これらの結果を3次元に拡張するには、 z 方向の距離が必要になる。垂直勾配は、式

【0 4 2 4】

【数 5 0】

$$S_v = \frac{\left(\tan \left(\frac{\theta_{f,van}}{2} \right) \right)^{-1}}{2 \frac{m}{M} - 1} \quad (23)$$

40

を使用して決定されうる。

【0 4 2 5】

ただし、 θ_f は、垂直視野であり、 m は、垂直ピクセル位置であり、 M は、垂直ピクセルの総数である。この導出は、(5) ~ (9) の o_{b_j} の計算と類似している。 z 成分は、垂直勾配 S_v 、および対象までの距離を使用して求められる。

50

【 0 4 2 6 】

【 数 5 1 】

$$z_{real} = S_v \cdot \sqrt{x_{obj}^2 + y_{obj}^2} \quad (24)$$

x座標は同じままである(25)。

【 0 4 2 7 】

$$x_{real} = x_{obj} \quad (25)$$

y座標は、垂直角度のコサインによりスケールしなければならぬ(26)。

$$y_{real} = y_{obj} \cdot \cos(\tan^{-1}(S_v)) \quad (26)$$

この数学的解析は、オフラインのMatlabプログラムにより以下の節で実施された。記録された画像を使用して、対象の位置が計算され、空間内でプロットされた。生体内カメラ・ロボットからの立体視の正確さを決定するために、知られている寸法の対象を撮影する。

10

【 0 4 2 8 】

ロボット立体カメラ装置の試験

図64Hの実験装置を使用して、複数の画像対をキャプチャし、上記の計算を使用して解析した。左および右の画像対の例が、図66Aおよび66Bに示されている。

【 0 4 2 9 】

画像対の対応する点の対が解析され、プロットされた。画像内の円筒形の形状は、図67Aに示されているように深度図で再現されうる。この3次元情報は、外科手術では非常に有益であると思われる。図67Bは、深度図に描かれた点雲から識別される円筒形の中心を示している。このデータを目標の知られている寸法と比較した場合、y方向(深さ)の誤差は1.8mmであり、x方向(横断)の誤差は2.9mmであることがわかる。図67Cは、5つの円筒形対象すべてのxおよびy誤差を示している。これが正確であれば、外科医は正確な深さフィードバックを受け取れるであろう。

20

【 0 4 3 0 】

ロボット立体カメラ装置によるブタ胆嚢摘出術の実施

ブタ胆嚢摘出術(胆嚢除去)を実施するために、生体内カメラ・ロボットが使用された。外科医は、立体カメラ・ロボットから送られて来るビデオ映像を使用して、手術を実施した。外科医は、立体表示ディスプレイを使用することで、3次元情報を閲覧した。標本画像は、図68Aおよび68Bに示されている。これらの表示画像中で組織をマニピュレートする3つの手術道具が見える。

30

【 0 4 3 1 】

外科医は、立体表示ディスプレイを使用して外科手術をリアルタイムで実施した。それに加えて、いくつかのキャプチャされた画像が後処理され、外科医が利用できる奥行き知覚が実証された。図68AおよびBに示されている画像に対する結果として得られる深度図が図68Cに示されている。3つのツールすべておよび関連する位置は、深度図内ではっきり見える。

【 0 4 3 2 】

胆嚢摘出術のときには、正規の手続きに従って動物の用意がなされた。2つのツール・ポートおよび腹腔鏡用にブタの腹壁に3つの小切開部が形成された。手術を観察するために腹腔鏡が使用されたが、外科医は、生体内立体カメラからの視覚フィードバックを利用した。ロボットの電線テザーを考慮した特殊なトロカールを使用して、生体内立体視ロボットが最初に挿入された。次いで、残りのトロカールが配置され、腹部に二酸化炭素が送気された。次いで、腹腔鏡ツールおよび腹腔鏡が挿入された。次いで、外科の助手が、図68Dに示されているような磁気ホルダーおよび腹腔鏡ツールを使用して生体内ロボットを腹壁の適所まで持ち上げた。助手は、手術全体を通して必要に応じてカメラを適所に保持し、また位置変更した。

40

【 0 4 3 3 】

次いで、執刀者が、標準腹腔鏡外科手術と同様に立体ビデオ・フィードバックを使用し

50

て胆嚢摘出術を開始した。胆嚢摘出術は、標準ツールを使用し、ただし生体内ロボットから送られて来る主ビデオ・フィードバックも用いて、実施された。胆嚢摘出術の後、生体内ロボットは、テザーにより引き寄せられた。

【実施例 8】

【0434】

図23Aおよび23Bに示されているような装置と類似のロボット装置で生み出されうるトルクを決定するために、ベンチトップ試験が実施された。この試験では、関節に静荷重をかけ、ストール・トルクが測定された。これらの結果は、図69に示されている。関節トルク出力（縦軸）は、肘角度（横軸）とともに変化する。これらの試験から、有意なトルクが発生しうることがわかる。通常の構成（肘が完全に伸びている状態）では、ロボットは6mNmの力を発生することができる。トルクは、肘が曲げ伸ばしされると減少する（人間の肘は、まっすぐな状態を超えて伸びることはない）。試験は10回実施され、最小二乗適合が示された。設計に固有の機械的増幅（つまり、歯車比、枢軸位置など）の変化があると得られるトルクが増大すると考えられる。「十分な」トルクの運動学的詳細は、「実験設計」の項の第D2節で説明されている。

10

【0435】

第2の1組の試験は、一実施形態による、ロボット設計に対する運動学的構成（つまり、関節運動）の調査に関係するものであった。ロボットは、そのエンド・エフェクターで力を加えることにより組織をマニピュレートする。これは、妥当な速度で実行されなければならない。ロボットにより発生されうる終点の力および速度は、ロボット運動学に大きく依存している。2つの可能な制限されることのない構成が、図70Aおよび70Bに示されている。第1のもの（図70A）は、人間の腕に似た、3つの回転関節を有する（肩の2つの大きな回転と肘の1つの回転）。第2のもの（図70B）は、2つの回転関節（肩）と、その後の直動（直線的）遠位関節とを有する。

20

【0436】

一実施形態による1設計が、図71に概略として示されており、これは、3つの回転関節を有する。マニピュレーターの運動学的モデルを開発するために、最低でも3つのパラメータが指定されなければならない。第1のパラメータは、ロボットが到達可能な空間の体積としてここでは定義される、「任意姿勢可動領域」のサイズである。目標任意姿勢可動領域内で、ロボットはロボットの前にある5cmの立方体内の組織をマニピュレートすることができる（ $2.5\text{ cm} < x < 7.5\text{ cm}$ 、 $-2.5 < y < 2.5$ 、 $-2.5 < z < 2.5$ ）。この任意姿勢可動領域は、多くの腹腔鏡手術に典型的なもので、またロボットの2つの「手」を連携動作させるのに妥当なものである。任意姿勢可動領域のサイズ/形状は、関節の限界および構成に依存し、これらの設計上の決定事項に関係するさまざまなトレードオフが調査される。

30

【0437】

必要な2つの追加パラメータは、ロボットがそのエンド・エフェクターを移動することができる公称速度と、エンド・エフェクターにより加えられうる最大終点力である。この実施例では、目標終点力は、任意姿勢可動領域内のすべての点におけるすべての方向（ x 、 y 、および z ）において3Nとなる。この実施例の目標終点速度は、 0.5 cm/秒 である。これらのパラメータは両方とも、ロボットの任意姿勢可動領域全体を通して変化する。例えば、ロボットは、その「肘」がまっすぐなときに x 方向により大きな力を加えることができる。これらのパラメータは、ロボットのヤコビアンを使って

40

$$\underline{x} = \underline{J} \underline{\quad}$$

のように数学的に表すことができる。

【0438】

ここで、終点速度 \underline{x} は、モーターとアクチュエータにより決定される。これらは、関節速度 $\underline{\quad}$ とヤコビアン行列 \underline{J} の積である。ヤコビアンは、関節長（ a_i ）および関節構成（ $\underline{\quad}_i$ ）に対する設計パラメータを含む。

【0439】

50

提案されている構成については、ヤコビアンは、

【 0 4 4 0 】

【 数 5 2 】

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (-s_1c_2c_3 + c_1s_3)a_4 - s_1c_2a_3 & -c_1s_2c_3a_4 - c_1s_2a_3 & (-c_1c_2s_3 + s_1c_3)a_4 \\ 0 & -c_2c_3a_4 - c_2a_3 & s_2s_3a_4 \\ (c_1c_2c_3 + s_1s_3)a_4 + c_1c_2a_3 & -s_1s_2c_3a_4 - s_1s_2a_3 & (-s_1c_2s_3 - c_1c_3)a_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}$$

で与えられ、ただし、 $s_i = \sin(\theta_i)$ および $c_i = \cos(\theta_i)$ である。この式は、ロボットのそれぞれの関節およびリンクの詳細設計の一部として使用される。

【 図 1 】

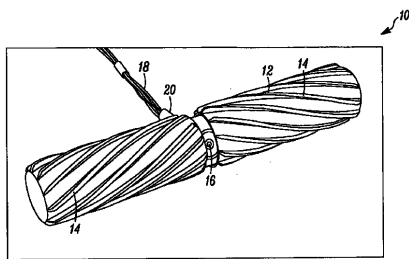


FIG. 1

【 図 2 】

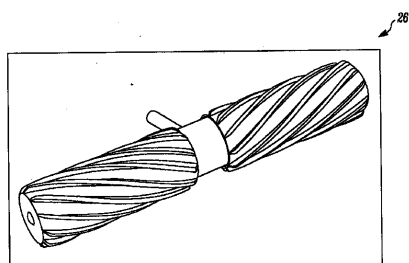


FIG. 2

【 図 3 A 】

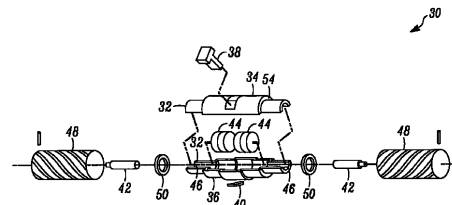


FIG. 3A

【 図 3 B 】

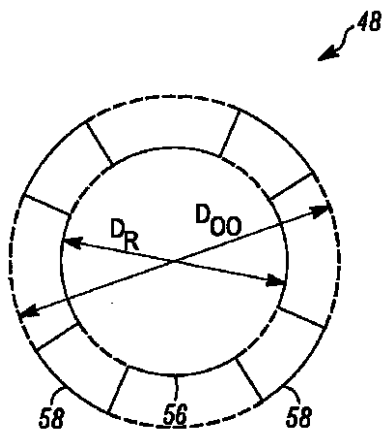


FIG. 3B

【 図 3 C 】

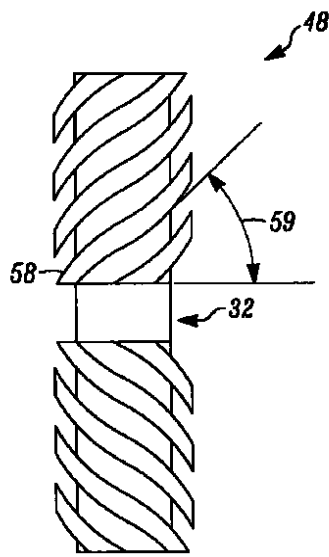


FIG. 3C

【 図 4 】

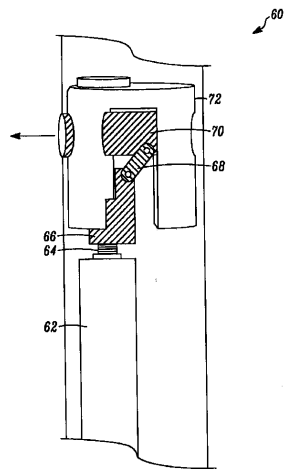


FIG. 4

【 図 6 】

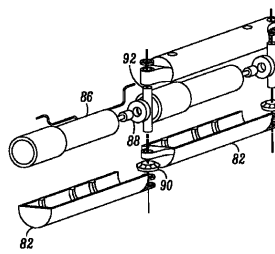


FIG. 6

【 図 7 A 】

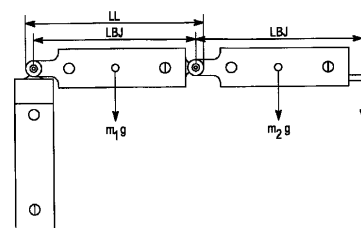


FIG. 7A

【 図 5 】

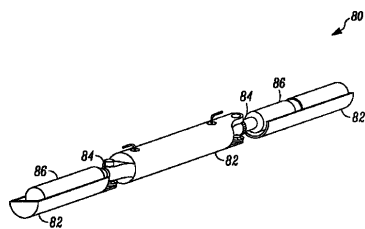


FIG. 5

【図7B】

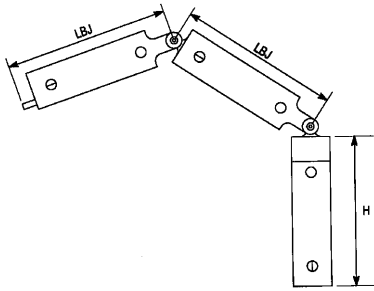


FIG. 7B

【図7C】

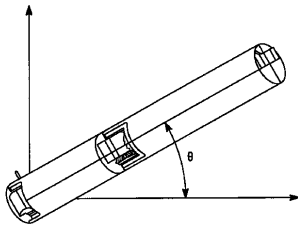


FIG. 7C

【図7D】

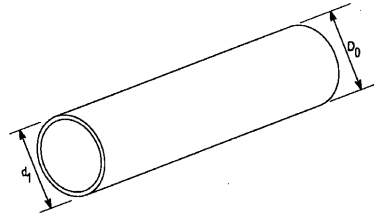
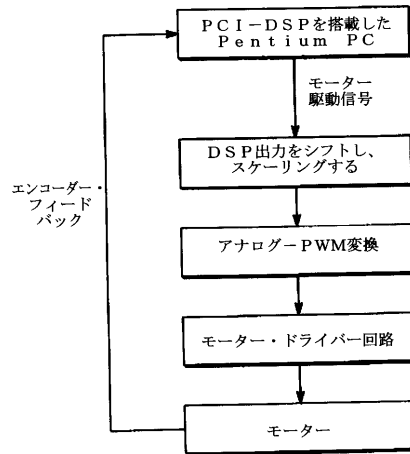


FIG. 7D

【図8】



【図9A】

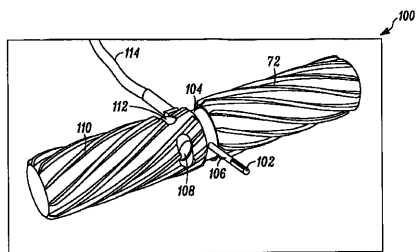


FIG. 9A

【図9B】

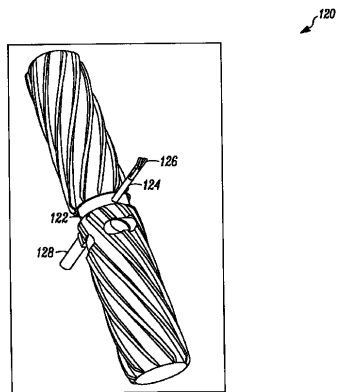


FIG. 9B

【図10】

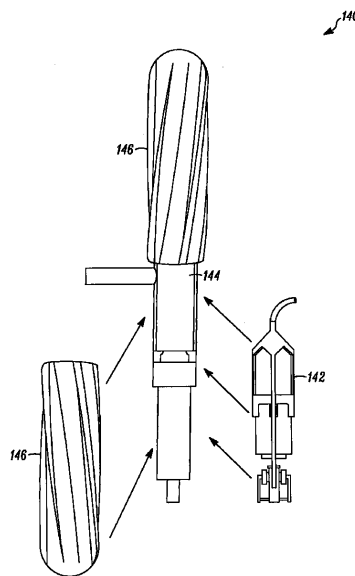


FIG. 10

【 図 1 1 A 】

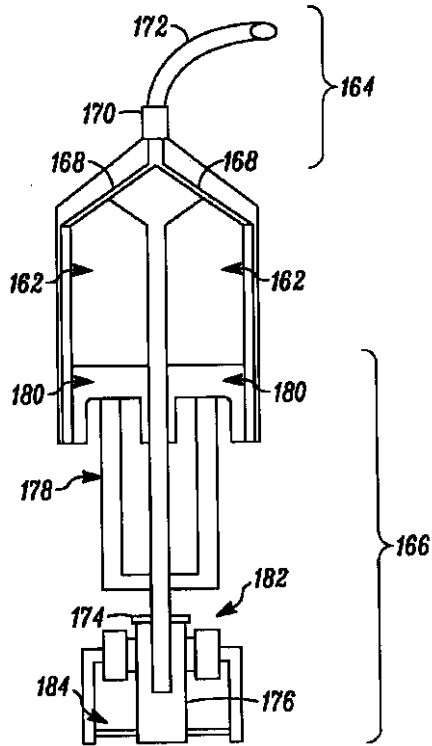


FIG. 11A

【 図 1 1 B 】

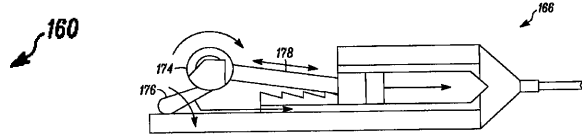


FIG. 11B

【 図 1 2 】

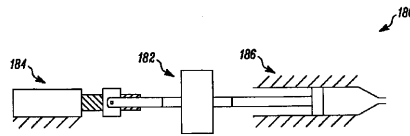


FIG. 12

【 図 1 3 A 】

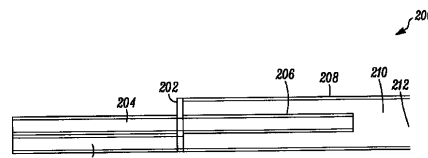


FIG. 13A

【 図 1 3 B 】

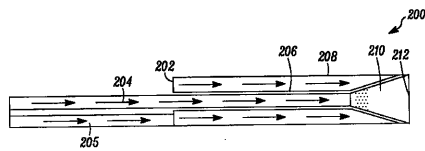


FIG. 13B

【 図 1 5 】

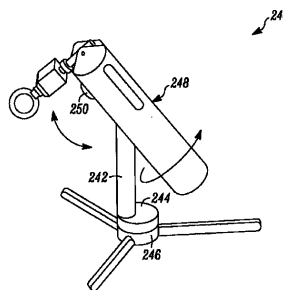


FIG. 15

【 図 1 4 】

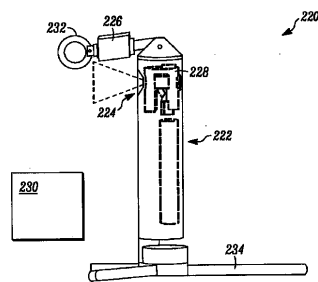


FIG. 14

【 16 】

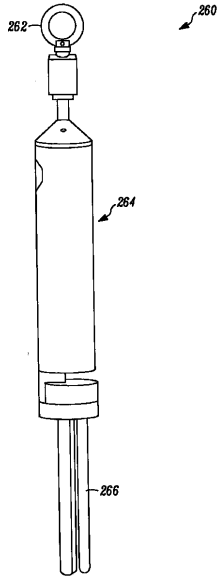


FIG. 16

【 17 A 】

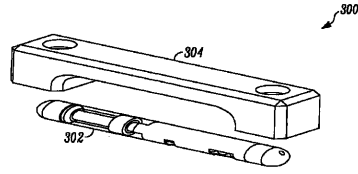
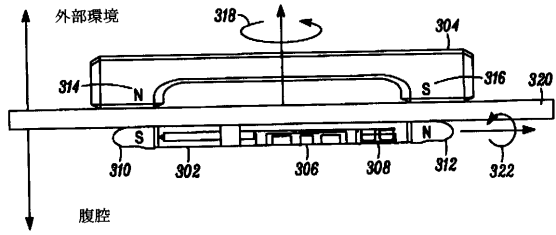


FIG. 17A

【 17 B 】



【 18 】

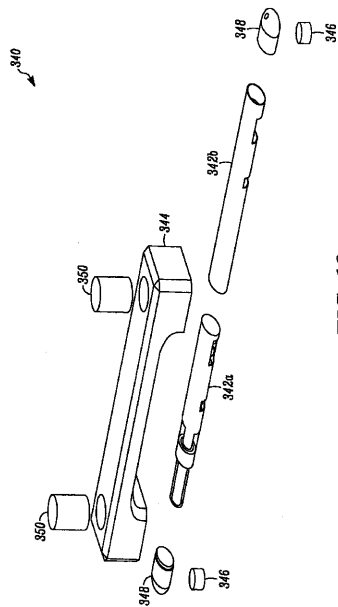


FIG. 18

【 19 A 】

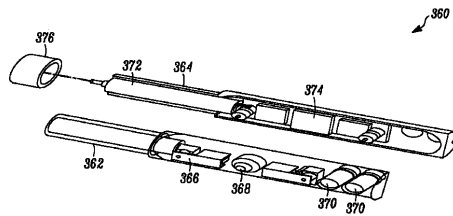


FIG. 19A

【 19 B 】

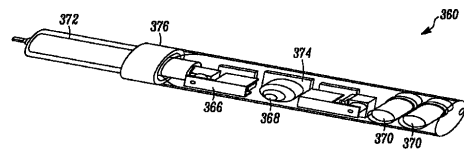


FIG. 19B

【 20 】

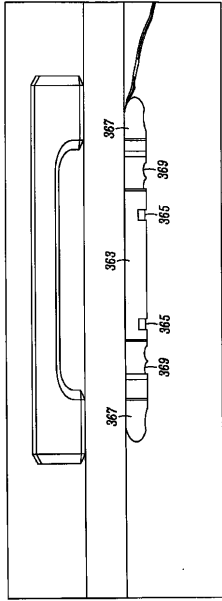


FIG. 20

【 21 】

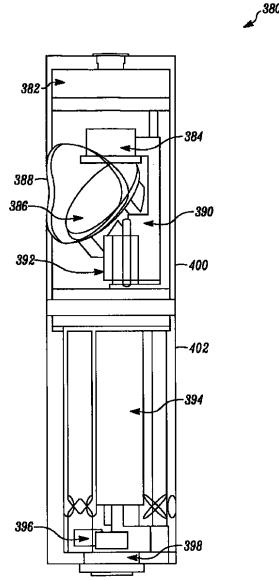


FIG. 21

【 22 A 】

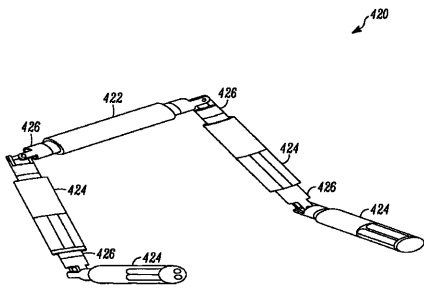


FIG. 22A

【 22 B 】

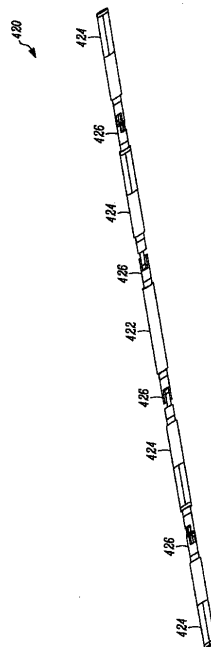


FIG. 22B

【 2 3 A 】

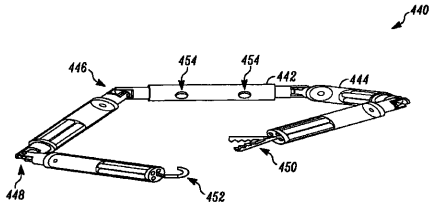


FIG. 23A

【 2 3 B 】

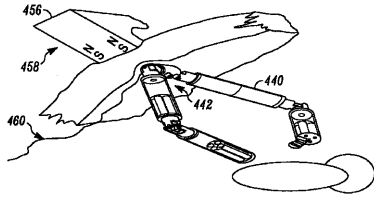


FIG. 23B

【 2 4 】

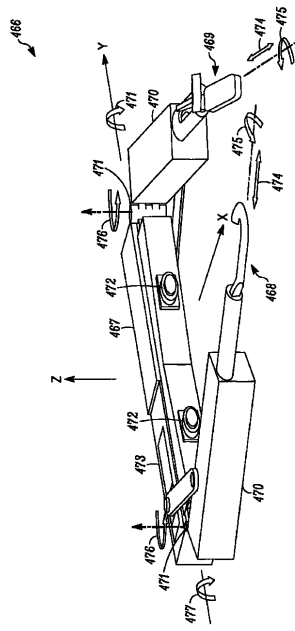


FIG. 24

【 2 5 】

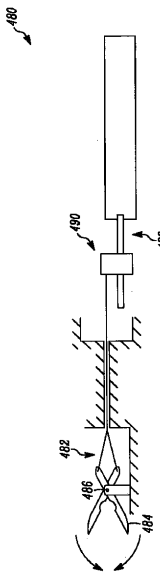


FIG. 25

【 2 6 A 】

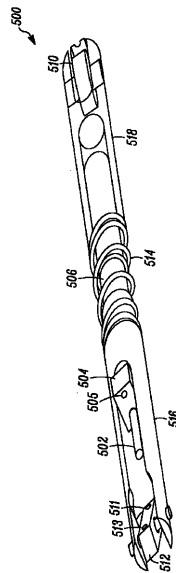
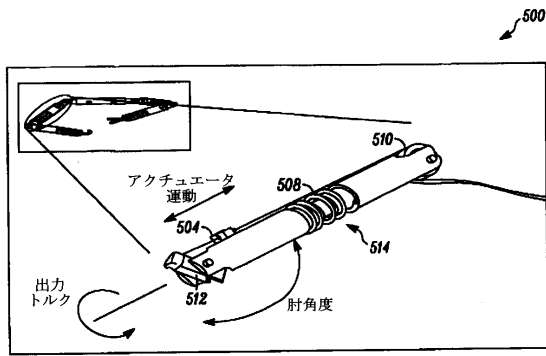
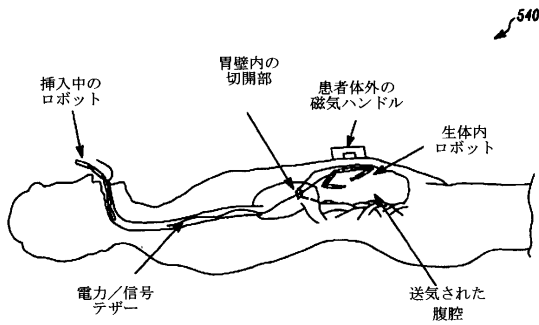


FIG. 26A

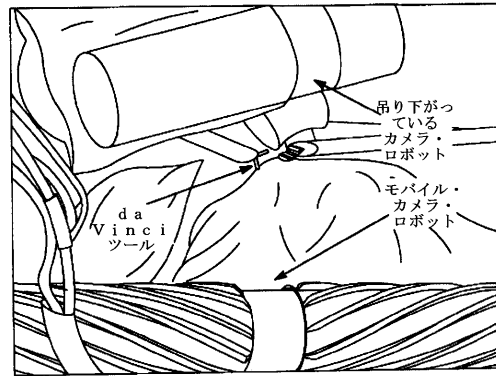
【図26B】



【図27】



【図28】



【図29】

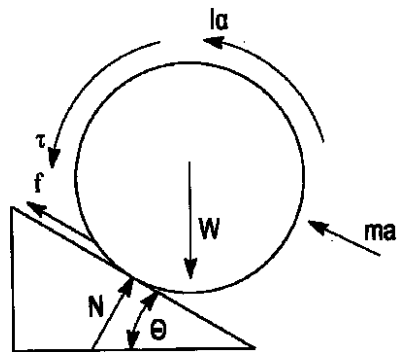


FIG. 29

【図30】

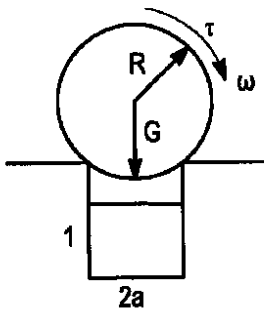


FIG. 30

【図31B】

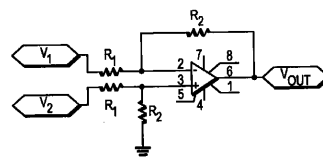
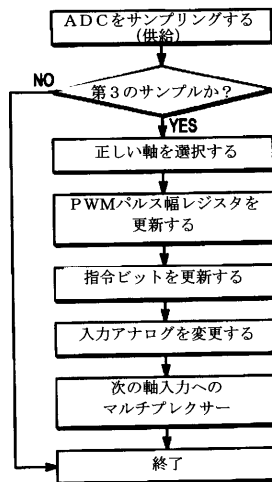


FIG. 31B

【図32】



【図31A】

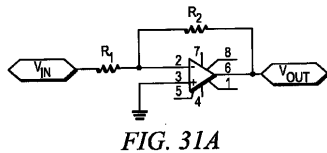
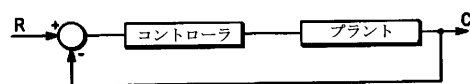
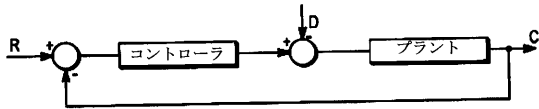


FIG. 31A

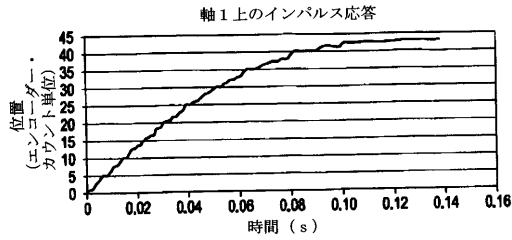
【図33】



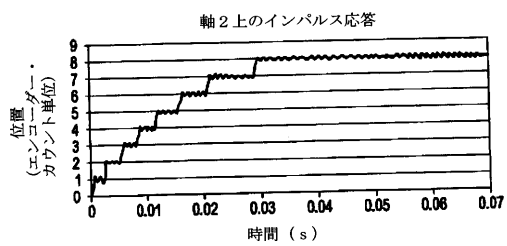
【 図 3 4 】



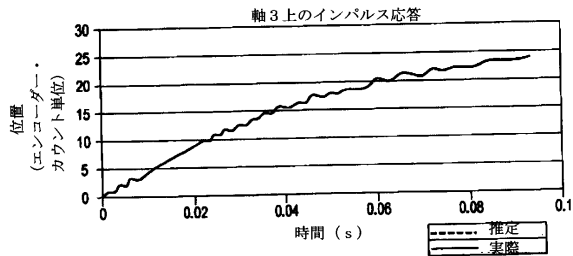
【 図 3 5 A 】



【 図 3 5 B 】



【 図 3 6 C 】



【 図 3 7 】

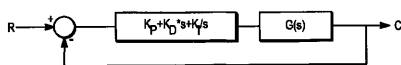


FIG. 37

【 図 3 8 A 】

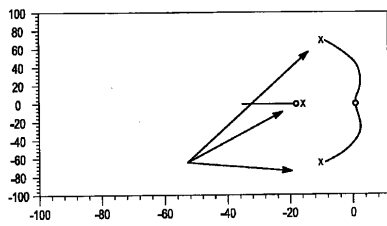
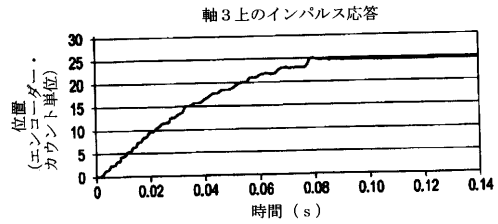
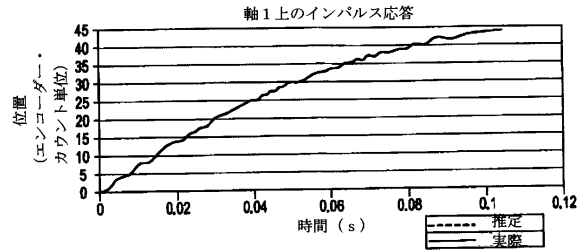


FIG. 38A

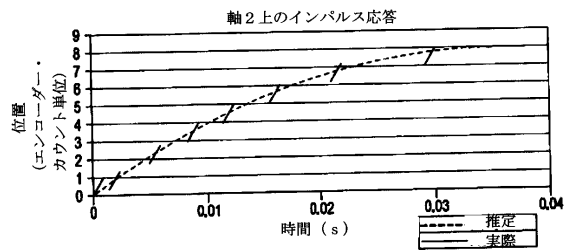
【 図 3 5 C 】



【 図 3 6 A 】



【 図 3 6 B 】



【 図 3 8 B 】

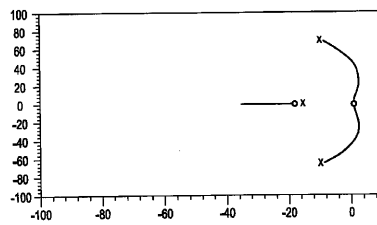


FIG. 38B

【 図 3 9 A 】

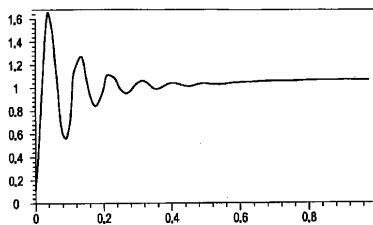


FIG. 39A

【 39 B 】

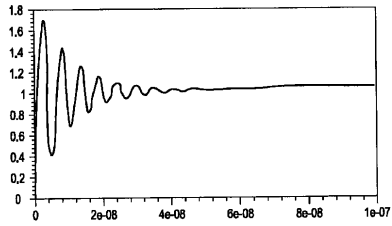


FIG. 39B

【 41 A 】

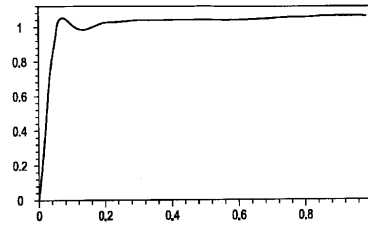


FIG. 41A

【 39 C 】

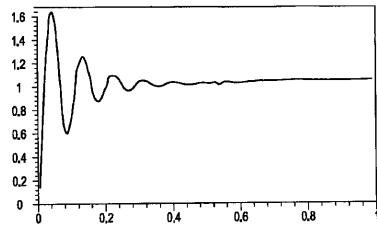


FIG. 39C

【 41 B 】

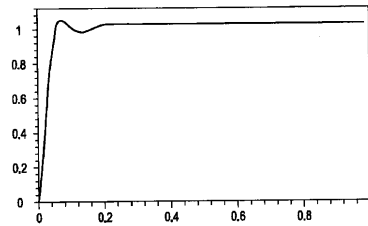


FIG. 41B

【 40 】

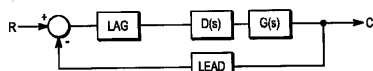


FIG. 40

【 42 】

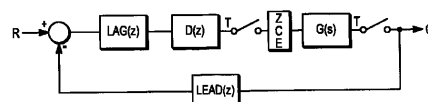
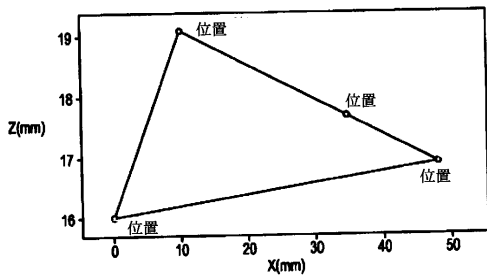


FIG. 42

【 43 】



【 45 】

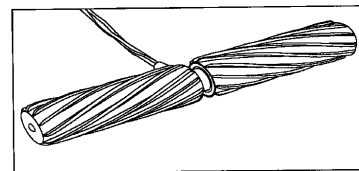
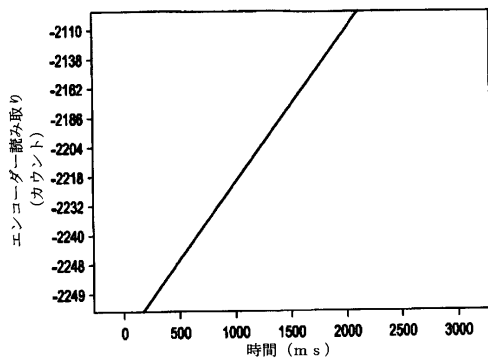


FIG. 45

【 44 】



【 46 】

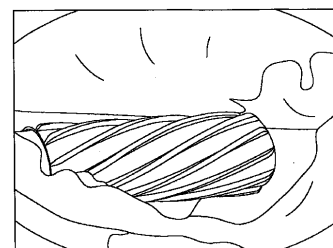


FIG. 46

【 図 47 】

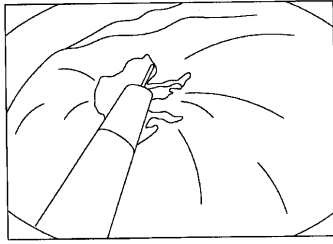


FIG. 47

【 図 49 】

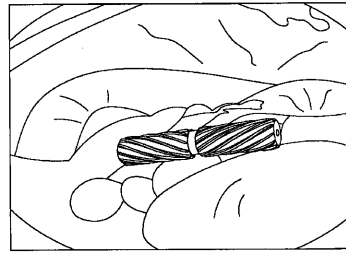


FIG. 49

【 図 48 】

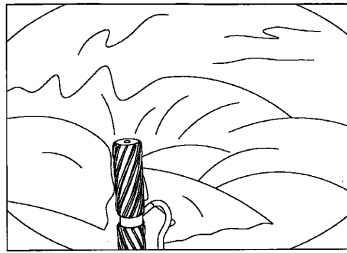


FIG. 48

【 図 50 】

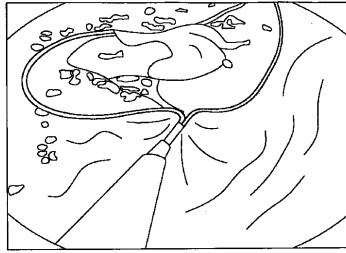


FIG. 50

【 図 51 】

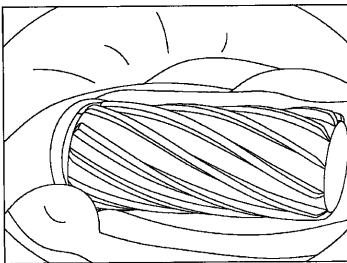


FIG. 51

【 図 53 】

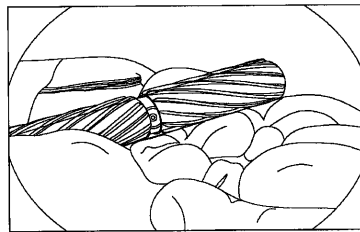


FIG. 53

【 図 52 】

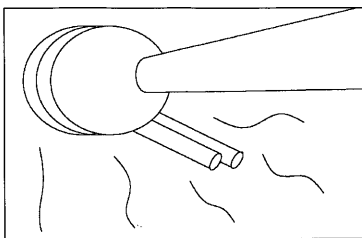


FIG. 52

【 図 54 】

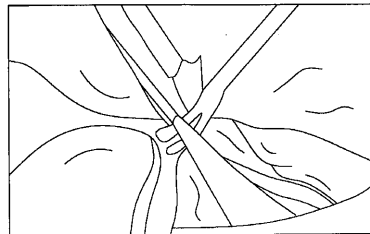
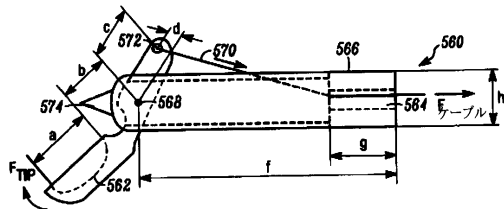


FIG. 54

【 図 55 A 】



【 55 B 】

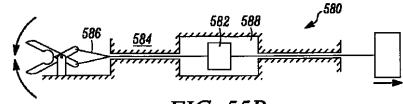
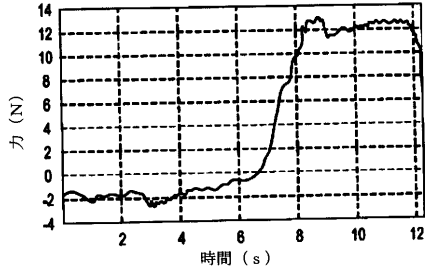
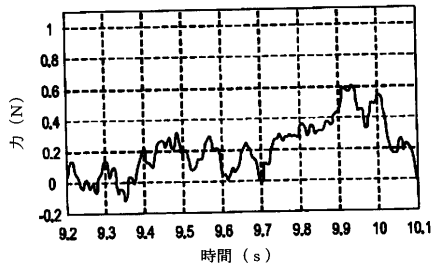


FIG. 55B

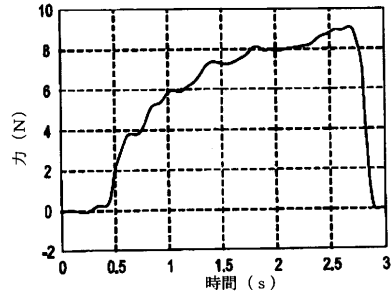
【 56 A 】



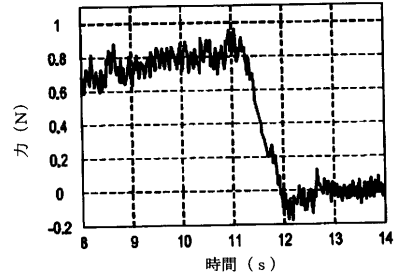
【 56 B 】



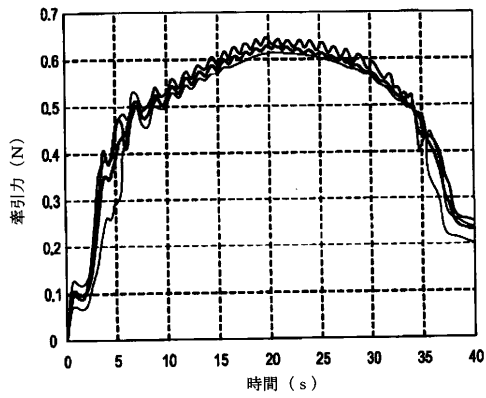
【 56 C 】



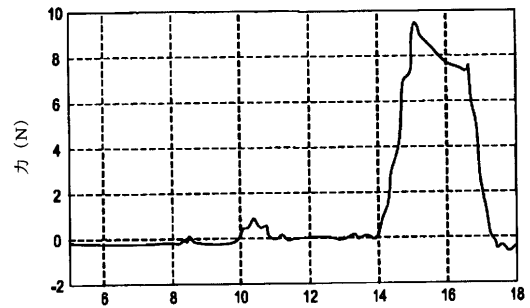
【 57 】



【 58 】



【 60 】



【 59 】

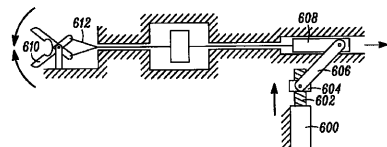


FIG. 59

【 61 】

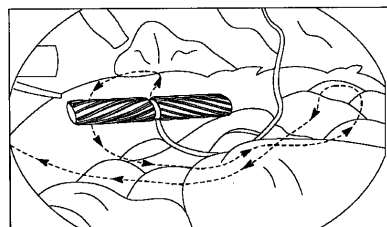
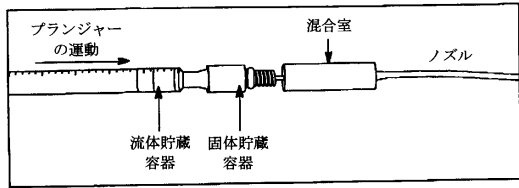
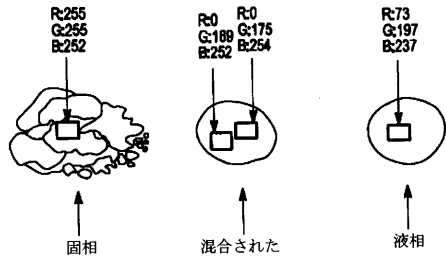


FIG. 61

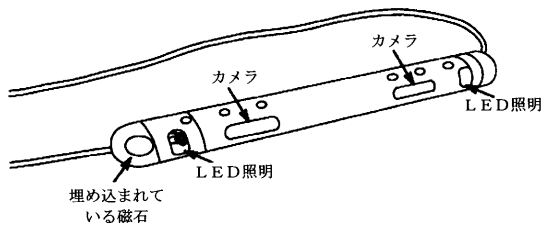
【図 6 2】



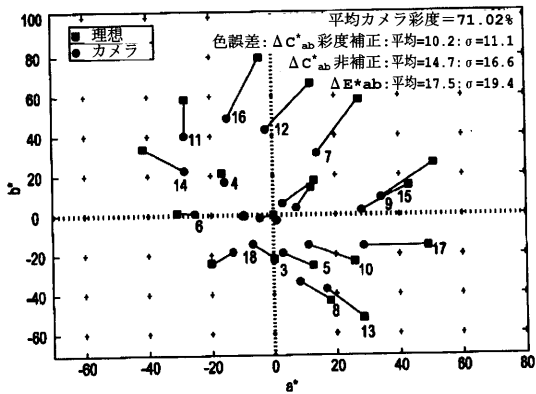
【図 6 3】



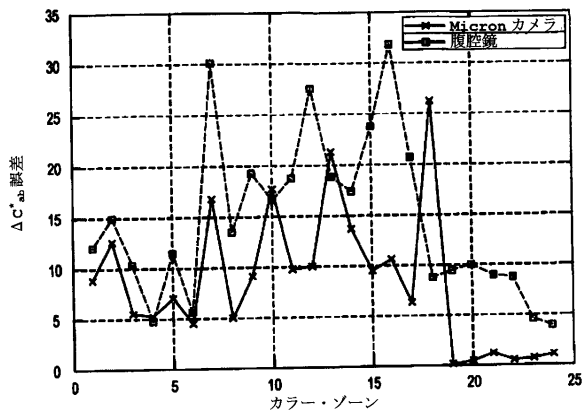
【図 6 4 A】



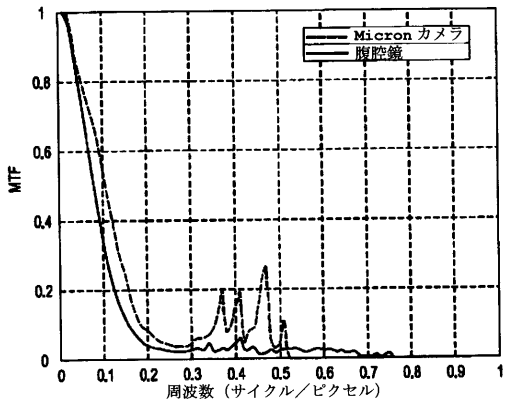
【図 6 4 D】



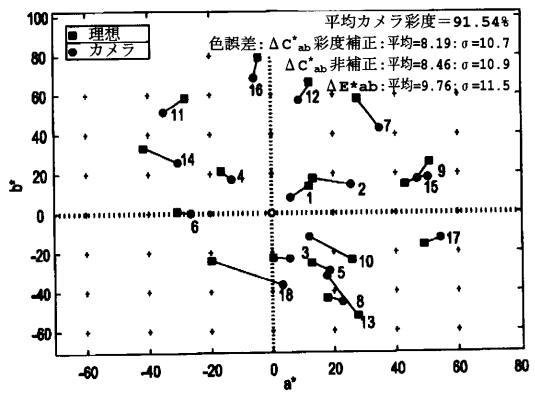
【図 6 4 E】



【図 6 4 B】



【図 6 4 C】



【図 6 4 F】

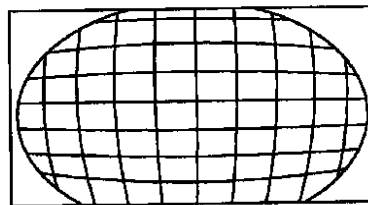


FIG. 64F

【図 6 4 G】

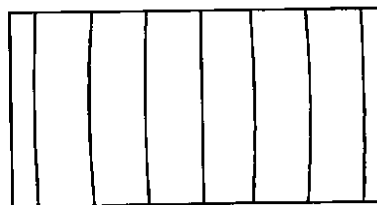


FIG. 64G

【図68A】

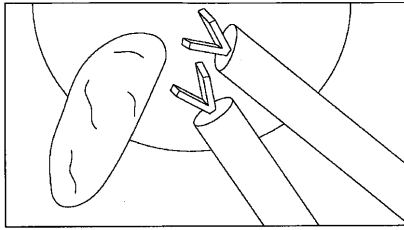


FIG. 68A

【図68B】

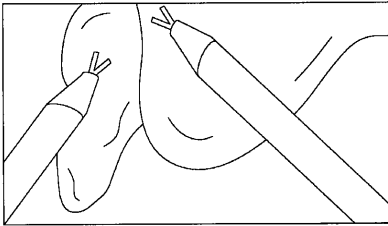
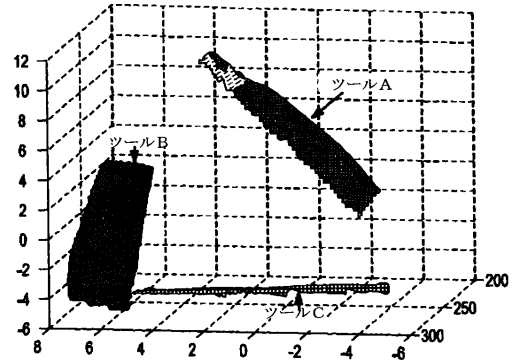


FIG. 68B

【図68C】



【図68D】

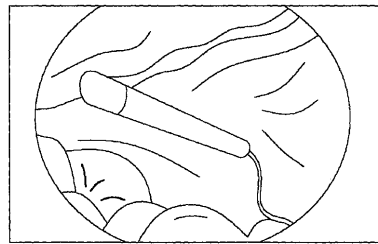
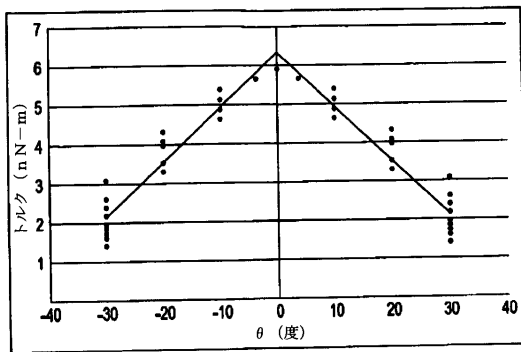


FIG. 68D

【図69】



【図70A】

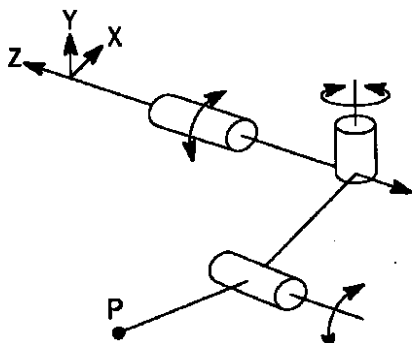


FIG. 70A

【図70B】

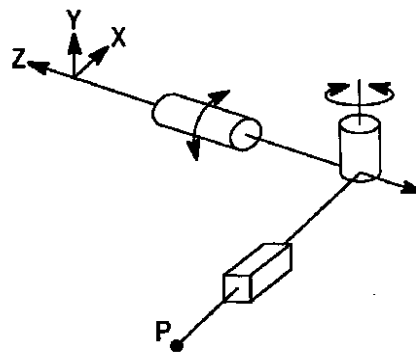
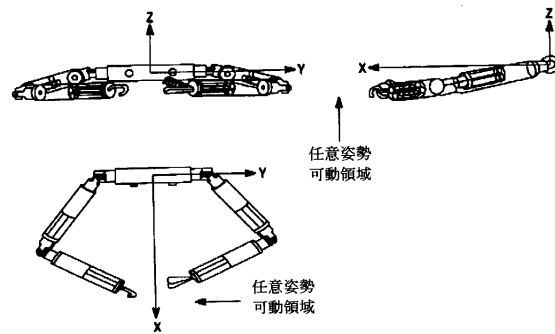


FIG. 70B

【図71】



フロントページの続き

- (31)優先権主張番号 60/868,030
(32)優先日 平成18年11月30日(2006.11.30)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 60/884,792
(32)優先日 平成19年1月12日(2007.1.12)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 60/888,182
(32)優先日 平成19年2月5日(2007.2.5)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (72)発明者 ファリター、シェーン
アメリカ合衆国 6 8 5 2 6 ネブラスカ州 リンカーン ブラックストーン ロード 6 1 3 7
- (72)発明者 リーマン、エイミー
アメリカ合衆国 6 8 4 3 4 ネブラスカ州 スワード カロル ケイ ブルバード 1 7 5 2
- (72)発明者 ウッド、ネイサン エイ .
アメリカ合衆国 6 8 1 3 3 ネブラスカ州 パピヨン ベア クリーク ロード 2 1 4 0
- (72)発明者 レンチュラー、マーク
アメリカ合衆国 6 8 1 0 6 ネブラスカ州 オマハ エス . フィフティファースト アベニュー
1 3 0 2
- (72)発明者 ダンパート、ジェイソン
アメリカ合衆国 6 8 1 3 8 ネブラスカ州 オマハ ウィロー クリーク ドライブ 1 4 5 1
4
- (72)発明者 プラット、スティーブ
アメリカ合衆国 6 8 3 6 0 ネブラスカ州 ガーランド ブランチド オーク ロード 1 7 2
6
- (72)発明者 オレイニコフ、ドミトリー
アメリカ合衆国 6 8 1 6 4 ネブラスカ州 オマハ ビニー ストリート 1 3 3 3 0

審査官 宮崎 敏長

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2005/0288555(US, A1)
米国特許出願公開第2004/0050394(US, A1)
米国特許出願公開第2004/0138552(US, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A 6 1 B 1 9 / 0 0

专利名称(译)	可磁耦合的机器人装置和相关方法		
公开(公告)号	JP5466004B2	公开(公告)日	2014-04-09
申请号	JP2009516581	申请日	2007-06-21
申请(专利权)人(译)	内布拉斯加大学校董局		
当前申请(专利权)人(译)	内布拉斯加大学校董局		
[标]发明人	ファリターシェーン リーマンエイミー ウッドネイサンエイ レンチュラーマーク ダンパートジェイソン プラットステーブ オレイニコフドミトリー		
发明人	ファリター、シェーン リーマン、エイミー ウッド、ネイサン エイ. レンチュラー、マーク ダンパート、ジェイソン プラット、ステーブ オレイニコフ、ドミトリー		
IPC分类号	A61B19/00		
CPC分类号	A61B1/00158 A61B1/041 A61B1/313 A61B5/05 A61B5/062 A61B5/073 A61B5/416 A61B10/04 A61B10/06 A61B34/30 A61B34/70 A61B34/72 A61B34/73 A61B90/361 A61B2017/00398 A61B2017/00876 A61B2017/22082 A61B2034/302 A61B2090/065 A61M5/14276 A61M5/1452 A61M5/16827 A61M31/00 A61M2205/3523 A61M2205/3569 A61B34/20 A61B2034/2057 B25J5/00 B25J7/00 B33Y80/00 Y10S901/01 Y10S901/15 Y10S901/19 A61B18/00 A61B2018/00595 A61B2018/00994 A61B2560/0462		
FI分类号	A61B19/00.502		
代理人(译)	昂达诚 本田 淳		
优先权	60/815741 2006-06-22 US 60/845608 2006-09-19 US 60/868030 2006-11-30 US 60/884792 2007-01-12 US 60/888182 2007-02-05 US		
其他公开文献	JP2009540934A5 JP2009540934A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

本发明涉及一种可磁性连接的机器人手术设备。更具体地，本发明涉及一种机器人手术装置，其可以插入患者体内并且可以使用外部磁体定位在患者体内。

表 2

モーター・トルク							
6mm ページャー・モーター				ZipZap(商標)モーター(青)			
電圧 [V]	角度 [度]	トルク [mNm]	[mNm]/ [V]	電圧 [V]	角度 [度]	トルク [mNm]	[mNm]/ [V]
0.5	5.0	0.02	0.043	-	-	-	-
1.0	8.5	0.04	0.037	1.0	3.5	0.02	0.015
1.5	12.0	0.05	0.035	1.5	6.0	0.03	0.017
2.0	16.0	0.07	0.034	2.0	8.5	0.04	0.018
2.5	18.5	0.08	0.032	2.5	10.5	0.05	0.018
3.0	21.5	0.09	0.030	3.0	12.0	0.05	0.017
		直線当 てはめ	0.028			直線当 てはめ	0.019