(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2012-152558
(P2012-152558A)
(43)公開日　平成24年8月16日(2012.8.16)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
A61B 5/055 (2006.01)		A61B	5/05	390	4C096
		A61B	5/05	380	
		A61B	5/05	311	

審査請求 未請求　請求項の数 19　ＯＬ　（全 25 頁）

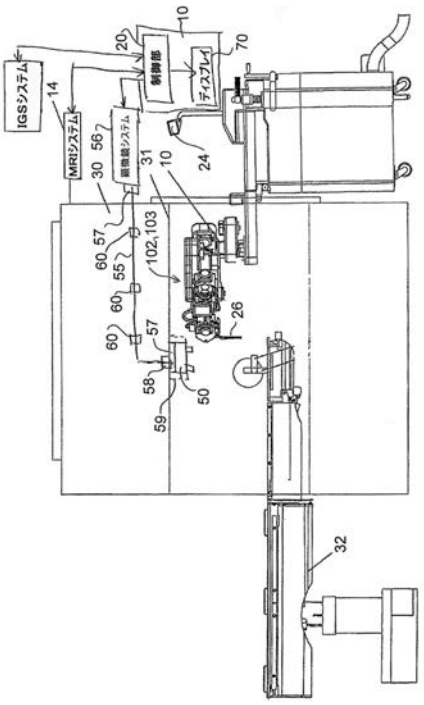
(21)出願番号　特願2012-11475(P2012-11475)
(22)出願日　平成24年1月23日(2012.1.23)
(31)優先権主張番号　13/012,164
(32)優先日　平成23年1月24日(2011.1.24)
(33)優先権主張国　米国(US)

(71)出願人　511261097
イムリス　インク.
カナダ　アール３ティー　１エヌ５　マニトバ州　ウィニペグ　ソニー・プレイス　１３７０　スイート　１００
(74)代理人　100082072
弁理士　清原　義博
(72)発明者　ショーン　シェーラー
カナダ　アール３ティー　１エヌ５　マニトバ州　ウィニペグ　ソニー・プレイス　スイート　１００－１３７０　シー／オー
(72)発明者　マーク　アレクシウク
カナダ　アール３ジー　２エー５　マニトバ州　ウィニペグ　エヴァンソン・ストリート　２８０

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ＭＲ磁石のボアで使用するためのＭＲ適合性の立体視デバイス

(57)【要約】　（修正有）
【課題】磁石のボアで使用するためのＭＲ適合性の立体視デバイスを提供する。
【解決手段】磁石のボア内で行われるＭＲガイド手術システムにおいて、外科医に表示される２Ｄと３Ｄ画像を生成する際に使用するために配置された立体視部品を含む、患者の必要とされる部分を表示するための顕微鏡システムが提供される。光学アセンブリは表示を偏向するように調節可能であり、視覚画像はＭＲ画像により重ね合わされる。視覚画像は手術ツールの移動に応じて調節可能であり、表示されるＭＲ画像および／または得られる画像は、視覚画像の変化および／またはツールの移動に応じて修正可能である。ボア中の部品はＭＲ環境に適合するように作られる。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
患者の一部を見るための装置であって、
前記装置は、
患者の一部からの光を受け取るための光学アセンブリを含み、
該光学アセンブリは、２Ｄおよび３Ｄ画像を生成する際に使用するように配された立体視部品を含み、少なくとも視野を変更するように調整可能であって、
前記装置はさらに、
前記患者の一部から受け取った光から生成された画像を見るためのディスプレイと、
光学アセンブリを制御するための、および、画像を生成するための制御システムと、
光学アセンブリと処理システムの間で通信するための通信構造とを含み、
該光学アセンブリは、ＭＲＩ磁石のボア内にアセンブリを配するように配置されたマウントを含み、
さらに、光学アセンブリ、制御システム、および、通信構造は、通信とＭＲ撮像を同時に可能にするようにＭＲＩ磁石と適合することを特徴とする装置。
【請求項２】
制御システムは、ズーム、被写界深度、焦点、パン、傾斜、窓部の水平化、色、バランス、倍率の１以上を含む光学アセンブリの表示パラメーターを変更するように配置されることを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項３】
照明光源は前記患者の一部の表示を照らすために光学アセンブリに一体化されることを特徴とする請求項１また２のいずれかに記載の装置。
【請求項４】
前記患者の一部からの光学アセンブリからの光をデジタル情報に符号化するための撮像／符号化デバイスが提供され、
前記撮像／符号化デバイスは光学アセンブリでは磁石のボア内の患者の近くに配され、制御システムはボアの外側に配されることを特徴とする請求項１乃至３のいずれかに記載の装置。
【請求項５】
前記患者の一部からの光学アセンブリからの光をデジタル情報に符号化するための撮像／符号化デバイスが提供され、
前記撮像／符号化デバイスは光学アセンブリから離れて配され、通信構造は光ファイバーシステムを含むことを特徴とする請求項１乃至４のいずれかに記載の装置。
【請求項６】
前記患者の一部からの光学アセンブリからの光をデジタル情報に符号化するための撮像／符号化デバイスが提供され、
前記撮像／符号化デバイスは、光学アセンブリから離れて配され、通信構造は光学アセンブリで動かすことができるライトチューブを含むことを特徴とする請求項１乃至５のいずれかに記載の装置。
【請求項７】
光学アセンブリ、制御システム、および、通信構造は、
電気通信ケーブル信号からの漂遊するＲＦが撮像に影響を与えるのを防ぐ電気通信ケーブル上のＲＦフィルタ、
ＲＦ撮像信号が撮像／符号化デバイスに影響を与えるのを防ぐ電気通信ケーブル上のＲＦフィルタ、
磁場と適合する材料から作られる光学アセンブリと撮像／符号化デバイスのまわりのＲＦエンクロージャ、
撮像システムのＲＦ電磁場で熱くなることを防ぐ電気通信ケーブル上のケーブルトラップ、
磁場が部品に影響を与えるのを防ぐ、該部品のまわりのまたは該部品に隣接する磁気シ

ールド、
の１以上によってＭＲＩ磁石と適合するように作られることを特徴とする請求項１乃至６のいずれかに記載の装置。
【請求項８】
前記装置は、１以上の手術ツールを操作するために、少なくとも１つのエンドエフェクタを備える少なくとも１つのロボットアームを含む手術ロボットシステムと共に使用され、
光学アセンブリはロボットアームまたはツールに取り付けられることで、それによって動かすことができるようになることを特徴とする請求項１乃至７のいずれかに記載の装置。
【請求項９】
光学アセンブリはロボットアームとは別の支持アームに取り付けられることで、前記支持アームで動かすことができるようになり、
前記支持アームはロボットアームによる干渉を避けるように動かすことができることを特徴とする請求項８に記載の装置。
【請求項１０】
制御システムは、ロボットアームの移動に応じて、表示パラメーターの１つ以上を変更するように光学アセンブリを操作するために配置されることを特徴とする請求項８または９に記載の装置。
【請求項１１】
制御システムは、光学アセンブリに対するツールの移動に応じて、焦点深度と焦点位置という１以上の表示パラメーターを変更するように光学アセンブリを操作するために配置されることを特徴とする請求項８、９、または、１０に記載の装置。
【請求項１２】
ロボットアームは、ユーザーからの入力に応じて移動するように制御され、
アームの移動は表示される画像に関連して拡大縮小されることを特徴とする請求項８乃至１１のいずれか１つに記載の装置。
【請求項１３】
ロボットアームは、ユーザーからの入力に応じて移動するように制御され、
アームの移動は画像上で示される非タッチ領域によって制限されることを特徴とする請求項８乃至１２のいずれか１つに記載の装置。
【請求項１４】
ＭＲＩシステムはＭＲ画像を生成するために配置され、
制御システムはディスプレイ上の視覚画像にＭＲ画像を重ね合わせるために、ＭＲＩの制御システムと連携するように配置され、
ＭＲＩの制御システムは、表示される視覚画像の変化および／またはツールの移動に応じて作動するように配置されることを特徴とする請求項８乃至１３のいずれか１つに記載の装置。
【請求項１５】
ＭＲＩの制御システムは、スキャンを引き起こすために、および／または、
解像度、スライス厚、および、寸法の１以上を含むＭＲ画像のスキャンパラメータ、
スキャン型、
スキャンされる患者／解剖学的構造の一部、
解剖学的画像を提供するためにツールの先端の位置を検出すること、
の１つ以上を変更するために配置されることを特徴とする請求項８乃至１４のいずれか１つに記載の装置。
【請求項１６】
制御システムは、画像誘導データを用いて外科医の視野に重ねるか視野を増やすことが可能なＩＧＳシステムに一体化されることを特徴とする請求項８乃至１５のいずれか１つに記載の装置。

【請求項１７】
ロボットは、各々のＭＲＩ画像が記録されると、停止するようにプログラムされることを特徴とする請求項８乃至１６のいずれか１つに記載の装置。
【請求項１８】
脳内の繊維跡すべて、とりわけ重要なのは腫瘍周辺の繊維跡を画像上に示す拡散テンソル撮像を含むＭＲ撮像が行われることを特徴とする請求項８乃至１７のいずれか１つに記載の装置。
【請求項１９】
画像の登録は、ロボットのツールまたは手術用器具にマーカーを置くことにより達成されることを特徴とする請求項８乃至１８のいずれか１つに記載の装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
この発明は、磁石のボアで使用するためのＭＲ適合性の立体視デバイスと、ＭＲ画像、および、ロボット手術システムとのその提携に関する。該システムは腫瘍の切除における手術ガイダンスの改善のために、組み合わせた蛍光とＭＲ画像を生成するために使用される。
【背景技術】
【０００２】
２００６年１２月２６日に発行された特許文献１（Ｓｕｔｈｅｒｌａｎｄ）では、ＭＲスキャナのボア内のロボット顕微鏡下手術のためのシステムが開示されている。この特許の開示は引用によって本明細書に組み込まれ、または、本発明が関係するＭＲおよびロボット手術システムのさらなる詳細について引用される。
【０００３】
上記特許は、システムが磁石のボア内で機能することができないため、撮像磁石が手術手順中に引っ込められる場合にＭＲ撮像システムとともに使用するよう意図された顕微鏡下手術ロボットシステムを開示している。ボア内での技術手法の開示が示されているが、これは１つのアームのみを使用する定位的な手法に限定され、開示される顕微鏡はボア内部での使用には適切でないため、効果的な顕微鏡下手術を妨げるという事実によって制限される。
【０００４】
すなわち、顕微鏡下手術は、手術部位を見る相互作用型の高解像度の、ＭＲ適合性の立体顕微鏡デバイスの利用可能性によって限定される。加えて、視線の問題が以下の形態で存在する：磁石のボア内の患者；手術部位を調査するボア内顕微鏡；手術部位の間にあって患者に手術を施すボア内のロボットアーム；他のボア内デバイス（カメラ、ライト、ＨＦＤなど）。これらの視線の問題は、外科医が手術室と制御室のどちらにいるのかにかかわらず存在する。したがって、顕微鏡は位置決めのためにコンパクトで、可撓性を有する必要がある。十分な照明も利用可能でなければならない。
【０００５】
加えて、ＭＲ適合性の顕微鏡は腫瘍の境界を見るための蛍光能力を与えるのには利用できない。
【０００６】
（内部の軟組織の特徴付けのための）ＭＲＩと（高解像度の切開のための）顕微鏡検査法とを組み合わせる能力と、ボア内の手術ロボットに沿った（腫瘍境界の向上のための）蛍光顕微鏡は、神経外科の技術の強力な統合である。
【０００７】
神経外科での蛍光画像は、様々なバイオマーカーと生化学的製剤が使用されて長年にわたって歴史的に進歩し、多くの技術的アプローチを有する。この精査は、造影剤、要約すると、内因性蛍光、外部の刺激による蛍光、および、外因性の造影剤に焦点を当て、その後、撮像に使用されるツールに焦点を当てる。それは、コンセンサス研究につながる重要

な臨床試験の要約で終了する。δ－アミノレブリン酸の投与によって刺激されるプロトポルフィリンＩＸ（ＰｐＩＸ）の実際的な有用性は、事実上試験的な臨床研究をしており、基礎科学研究を完成させている。近年、切除をガイドするためにＰｐＩＸ蛍光を使用する多角的な臨床試験が、短期間の生存の改善に対する有効性を示している。外因性の剤が開発され、前臨床的に試験されており、および、それらがＰｐＩＸを生成しないか、または、低悪性度の腫瘍を描写する手助けとならない微小侵襲性（ｍｉｃｒｏ－ｉｎｖａｓｉｖｅ）の疾患または特定の腫瘍のサブタイプを切除するための追加能力を提供する場合には、長期生存利益の可能性を願わくば有する。測定と撮像に使用される技術の領域は広範に変化し、ほとんどの臨床試験は、ポイントプローブまたは改良された手術用顕微鏡のいずれかを用いて行われる。現在、最適化されたプローブ手法は臨床試験では有効性を示していて、さらに、完全に商業化された撮像システムが出ており、該システムは明らかに採用（ａｄｏｐｔｉｏｎ）を神経外科的実践へと導く助けとなる。

【０００８】

神経外科ガイダンスのための腫瘍組織造影剤として、ＡＬＡによって誘発されたＰｐＩＸ蛍光を使用する無作為化した位相ＩＩＩの多角的な臨床試験では、腫瘍組織は、より完全に切除され、６か月の無増悪生存期間は伸びた。

【０００９】

顕微鏡検査法の臨床的な使用は主に臨床研究に限定されており、機構的情報が取り込みまたは局在化の起源について求められる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【００１０】

【特許文献１】米国特許第７，１５５，３１６号

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【００１１】

本発明の１つの態様によれば、患者の一部を見るための装置が提供され、該装置は、患者の一部からの光を受け取るための光学アセンブリを含み、該光学アセンブリは、２Ｄおよび３Ｄ画像を生成する際に使用するように配された立体視部品を備え、該光学アセンブリは、少なくとも視野を変更するように調整可能であり、さらに、一部から受け取った光から生成された画像を見るためのディスプレイと、光学アセンブリを制御するための、および、画像を生成するための制御システムと、光学アセンブリと処理システムの間で通信するための通信構造とを含み、ここで、光学アセンブリは、ＭＲＩ磁石のボア内にアセンブリを配するように配置されたマウントを含み、さらに、ここで、光学アセンブリ、制御システム、および、通信構造は、通信とＭＲ撮像を同時に可能にするようにＭＲＩ磁石と適合する。

【００１２】

好ましくは、制御システムは、ズーム、被写界深度、焦点、パン（ｐａｎ）、傾斜、窓部の水平化（ｗｉｎｄｏｗ　ｌｅｖｅｌｌｉｎｇ）、色、バランス、倍率の１以上を含む光学アセンブリの表示（ｖｉｅｗｉｎｇ）パラメーターを変更するように配置される。

【００１３】

好ましくは、照明光源は患者の一部の表示を照らすために光学アセンブリに一体化される。

【００１４】

好ましくは、該患者の一部からの光学アセンブリからの光をデジタル情報に符号化するための、撮像／符号化デバイスまたはＣＣＤが提供される。

【００１５】

１つの配置では、撮像／符号化デバイスは光学アセンブリでは磁石のボア内の患者の近くに配され、制御システムは、画像データを運ぶ電気信号との通信用のワイヤを用いて、その間の通信に係るボアの外側に配される。

【００１６】
別の配置では、撮像／符号化デバイスは、光学アセンブリから離れて配され、通信構造は光ファイバーシステムを含む。
【００１７】
さらに別の配置では、撮像／符号化デバイスは、光学アセンブリから離れて配され、通信構造は光学アセンブリで動かすことができるライトチューブを含む。
【００１８】
好ましくは、顕微鏡下手術が離れた操作位置でエフェクターのロボット制御を使用する外科医によって行われるように、ディスプレイはボアの外側の遠隔ディスプレイである。
【００１９】
好ましくは、該ディスプレイは、手術部位の視覚的なリアルタイムの最新情報を提供し、立体表示のリアルタイムの最新情報のために、ＭＲ画像のリアルタイムの重ね合わせと組み合わされる。すなわち、ＭＲシステムからの画像は視覚画像で登録され、外科医から同時に見えるように重ね合わされる。
【００２０】
別の配置では、ディスプレイは外科医に取り付けるための頭部装着型ディスプレイを含む。
【００２１】
またさらなる配置では、ディスプレイは、従来の双眼鏡設定または立体的な３Ｄディスプレイである。それは、部位を直接見るためにボアに配された従来の顕微鏡タイプである。
【００２２】
好ましくは、光学アセンブリは従来の技術を用いて滅菌される。
【００２３】
好ましくは、光学アセンブリ、制御システム、および、通信構造は、次のものの１以上によってＭＲＩ磁石と適合するように作られる：電気通信ケーブル信号からの漂遊する（ｓｔｒａｙ）ＲＦが撮像に影響を与えるのを防ぐ電気通信ケーブル上のＲＦフィルタ；ＲＦ撮像信号が撮像／符号化デバイスに影響を与えるのを防ぐ電気通信ケーブル上のＲＦフィルタ；磁場と適合する材料から作られる光学アセンブリと撮像／符号化デバイスのまわりのＲＦエンクロージャ；撮像システムのＲＦ電磁場で熱くなることを防ぐ電気通信ケーブル上のケーブルトラップ；磁場が部品に影響を与えるのを防ぐ、部品に隣接する磁気シールド。
【００２４】
１つの配置では、光学アセンブリはマウントによってボアに取り付けられる。
【００２５】
別の配置では、光学アセンブリはマウントによってボアの中に伸張するアームに取り付けられる。
【００２６】
好ましくは、装置は、１以上の手術ツールを操作するために、少なくとも１つのエンドエフェクタを備える少なくとも１つのロボットアームを含む手術ロボットシステムと共に使用される。
【００２７】
この配置では、光学アセンブリはロボットアームに取り付けられることで該ロボットアームで動かすことができるようになり、すなわち、光学アセンブリはロボットアームに取り付けられることで、該ツールで動かすことができるようになり、該ツールの先端を含む視野を有するようになる。
【００２８】
別の配置では、光学アセンブリは該ツールに取り付けられることでツールで動かすことができるようになるとともに、ツールの先端を含む視野を有するようになるか、または、光学アセンブリは該ツールの先端でツールに取り付けられることができる。

【００２９】
好ましくは、光学アセンブリはロボットアームとは別の支持アームに取り付けられることで、該支持アームで動かすことができるようになり、支持アームは手術手順を達成するように移動するロボットアームに対する干渉を避けるように制御される。
【００３０】
好ましくは、制御システムは、ロボットアームの移動に応じて、表示パラメーターの１つ以上を変更するように光学アセンブリを操作するために配置される。
【００３１】
代替的に、制御システムは、光学アセンブリに対するツールの移動に応じて、表示パラメーターの１つ以上を変更するように光学アセンブリを操作するために配置される。
【００３２】
例えば、制御システムは、ツールの先端の領域に焦点を合わせるための、光学アセンブリに対するツールの移動に応じて、その焦点位置を変更するように光学アセンブリを操作するために配置される。
【００３３】
例えば、制御システムは、光学アセンブリに対するツールの移動に応じて、焦点深度を変更するように光学アセンブリを操作するために配置される。
【００３４】
好ましくは、ロボットアームは、ユーザーからの入力に応じて移動するように制御され、アームの移動は表示される画像に関連して拡大縮小される。
【００３５】
好ましくは、ロボットアームは、ユーザーからの入力に応じて移動するように制御され、アームの移動は画像上で示される非タッチ領域によって限定される。
【００３６】
好ましくは、ＭＲＩシステムは、ＭＲ画像を生成するために配置され、制御システムはディスプレイ上の視覚画像にＭＲ画像を重ね合わせるために、ＭＲＩの制御システムと連携するように配置される。
【００３７】
この配置では、好ましくは、ＭＲＩの制御システムは、表示された視覚画像の変化に応じて作動するように配置される。
【００３８】
この配置では、好ましくは、ＭＲＩの制御システムは、表示された視覚画像の変化に応じて、重ね合わせのために獲得したＭＲ画像を変更するように配置される。
【００３９】
１以上の手術ツールを操作するために少なくとも１つのエンドエフェクタを備えた少なくとも１つのロボットアームを含む手術ロボットシステムとともに装置が使用される配置では、好ましくは、ＭＲＩの制御システムは、ツールの移動、および／または、表示される視覚画像の変化に応じて作動するように配置される。
【００４０】
好ましくは、ＭＲＩの制御システムは、次のものの１つ以上を変更するように配置される：解像度、スライス厚、および、寸法の１以上を含むＭＲ画像のスキャンパラメータ；スキャン型（Ｔ１、Ｔ２など）；患者／解剖学的構造の一部が視覚画像の変更またはツールの移動のいずれかに基づいてスキャンされること。
【００４１】
例えば、ＭＲＩの制御システムはスキャンを引き起こすように配置される。
【００４２】
例えば、ＭＲＩの制御システムは、ツールの先端の位置を検知することから解剖学的画像を提供することまで、ＭＲ撮像を変更するように配置される。
【００４３】
好ましくは、制御システムは、画像誘導データ（image guidance data）を用いて外科

医の視野に重ねるか視野を増やすことが可能なＩＧＳシステムに一体化される。

【００４４】

好ましくは、光学アセンブリは視覚画像、ＩＲ像、および／または、蛍光を検知するために配置される。

【００４５】

好ましくは、光学アセンブリは、可視光と、患者の一部内の蛍光細胞から放たれる蛍光とを含む、患者の一部からの光を受け取るために配置され、ここで、ＭＲＩシステムはＭＲ画像を生成するために配置され、さらにここで、制御システムは、ディスプレイ上の蛍光を含む視覚画像にＭＲ画像を重ね合わせるためにＭＲＩの制御システムと連携するように配置される。

【００４６】

好ましくは、定量的蛍光撮像とＭＲ撮像との組み合わせは、神経外科手順の間に存在する残存腫瘍の量を測定するために、この残存腫瘍の切除の際に外科医または手術ロボットをガイドするために、および、正常な脳が手つかずのままであることを保証するために、使用される。

【００４７】

好ましくは、患者は、脳腫瘍細胞に排他的に入るとともに、その中にひとたび入ると蛍光を発する薬物を投与される。

【００４８】

蛍光性の薬物はもっぱら腫瘍細胞に存在するため、薬物濃度の定量測定が腫瘍細胞の濃度の尺度となるように、蛍光は好ましくは定量的に分析される。

【００４９】

好ましくは、ＭＲ撮像は、存在する腫瘍細胞の場所のより完全な絵を提供する。

【００５０】

好ましくは、残存腫瘍塊を表わす画像は分割され、データはロボットに転送され該ロボットは、蛍光画像の定量分析によって割り当てられたレベルまで腫瘍を切除するのに使用される。

【００５１】

好ましくは、蛍光画像と共同登録されるＭＲ画像は、腫瘍細胞領域を提供するように分割に関与し、かつ、多くを語る（ｅｑｏｌｕｅｎｔ）敏感な脳構造に関連する領域を締め出す。

【００５２】

好ましくは、蛍光撮像の撮像速度は、ほぼ３０フレーム／秒であるため、切除の際に切除をモニタすることが可能となる。

【００５３】

好ましくは、ロボットは、各々のＭＲＩ画像が記録されると、停止するようにプログラムされる。

【００５４】

好ましくは、ＭＲ画像は、脳内の繊維跡（ｆｉｂｅｒ　ｔｒａｃｋ）すべて、とりわけ重要なのは腫瘍周辺の繊維跡を画像上に示す拡散テンソル画像を含む。

【００５５】

好ましくは、腫瘍細胞に付着する蛍光の化学物質は、ＭＲ画像と蛍光画像の両方に現われるように、ＭＲＩマーカーも包含する。

【００５６】

好ましくは、画像の登録は、ロボットのツールまたは手術用器具にマーカーを置くことにより達成される。

【００５７】

本発明の第２の態様によれば、患者の一部を見るための装置が提供され、該装置は、患者の一部内の蛍光細胞から放たれる可視光と蛍光を含む、患者の一部からの光を受け取るための光学アセンブリと、受け取った光から患者の一部の視覚画像を生成するための、お

よび、蛍光を含むための制御システムと、一部から受け取った光から生成される視覚画像を見るための、蛍光を含むディスプレイと、ＭＲＩ磁石のボア内に光学アセンブリを位置付けるように配置されたマウントとを含み、ここで、光学アセンブリ、制御システム、および、通信構造は、通信とＭＲ撮像を同時に可能にするようにＭＲＩ磁石と適合し、ここで、ＭＲＩシステムはＭＲ画像を生成するように配置され、さらにここで、制御システムは、ディスプレイ上の蛍光を含む視覚画像にＭＲ画像を重ね合わせるために、ＭＲＩの制御システムと連携するように配置される。

【００５８】

本発明は、（例えば、ボア内の手術ロボットと組み合わせて）撮像磁石のボア内で使用するために最適化された新規なマウント機構とともに、離れた観察位置で局所的または遠隔的に２Ｄまたは３Ｄの手術部位を見る能力を外科医に提供するＭＲ適合性の顕微鏡を含む。

【００５９】

デバイスは、ズーム、被写界深度、焦点、パン、傾斜、窓部の水平化、色、バランスなどを含む顕微鏡の表示パラメーターを変更する能力を外科医に与える制御を有することができる。手術用ライトは手術部位を見ることができるように顕微鏡に一体化可能である。デバイスは、画像誘導データを用いて外科医の視野に重ねるか視野を増やすことが可能なＩＧＳシステムに一体化される。

【００６０】

顕微鏡システムは、撮像／符号化デバイス、処理装置、および、１つ以上の表示装置を包含する。撮像／符号化デバイスは、磁石のボア内の患者の近くに配されるが、処理装置はＲＦシールドの外部に配される。表示デバイスはＲＦシールドの内に、または、その外部に配されてもよい。例えば、手術ロボットによって必要に応じて遠隔表示を支持するために、表示装置を制御室に配することができる。

【００６１】

ＭＲが（例えば、手術で使用するためのＭＲ画像のリアルタイムの最新版を）撮像している間に、ＭＲ適合性の顕微鏡は手術部位の対応する視覚的なリアルタイム最新版の立体表示を生成することができる。立体表示のリアルタイム最新版のために、ＭＲ画像をリアルタイムに重ね合わせるべく、これらを組み合わせることもできる。

【００６２】

立体信号は２Ｄおよび３Ｄの両方のディスプレイのスクリーンに表示され、頭部装着型ディスプレイに随意に送られる。顕微鏡の出力は、従来の双眼鏡設定か、または、３Ｄ眼鏡を備えた、あるいは、備えていない立体的な３Ｄディスプレイの一部である。映像も記録してアーカイブに保管することができる。

【００６３】

顕微鏡は撮像磁石のボアに位置付け可能な最小の大きさにすることができ、以下の特徴を包含することができる。

－遠隔地（ボアの外部）から調節可能な様々な倍率レベル
－遠隔地（ボアの外部）からの焦点調節能力
－一体型の手術用ライト
－蛍光表示支持部

【００６４】

顕微鏡の部品は手術領域の近くにあるため、それらは滅菌される。

【００６５】

ＭＲ適合性については、システムは、
－ボア内に配されたデバイスにおいて集積光とデジタル化を含む
－ボアとＲＦシールドの外部に取り付けられた全ての電子機器とともに、ボアからの光学信号を送るためにボア内の繊維光学を備えたレンズを含む光学部品を使用する
－デバイスの先端（光学部品が配される場所、すなわち、先端部のチップ）に取り付けられたＭＲ適合性の回路と撮像チップを使用する

－デジタルに符号化される画像を使用する
ことができる。
【００６６】
ＭＲ適合性の顕微鏡からの３Ｄ画像は、従来の顕微鏡の視野が統合される任意の用途に統合可能である。
【００６７】
このデバイスは単独で作動することができるか、または、手術ロボットシステムの一部になる。
【００６８】
ＭＲ適合性の顕微鏡は、手術室の床に独立して立っているように磁石のボア内の患者の上に顕微鏡を位置付けるとともに顕微鏡検査法をボアに拡大する装置に取り付け可能であり、磁石ボアまたはボア内の他の器具に取り付け可能である。
【００６９】
顕微鏡は、例えば、ロボットアームのエンドエフェクタ上に、または、その近くに取り付けられた手術ロボット上にも取り付け可能である。２つのロボットアームがボア内で作動する場合、各々のアームは別の顕微鏡を有することができる。顕微鏡は、同様に、ロボットエンドエフェクタに取り付けられるツールまたは器具に、直接組み合わせるか、または、一体化させることができる。これは、ロボットから独立した顕微鏡ディスプレイと組み合わせることもできる。
【００７０】
システムは、遠隔的または局所的のいずれかで、ＭＲＩのボア内の手術部位を２Ｄまたは３Ｄのいずれかで見る能力を外科医に提供することができ、これによって、顕微鏡下手術は例えば、手術ロボットと組み合わせてＭＲＩのボア内で行われることが可能となる。
【００７１】
ボア内で作動するロボットの各々のエンドエフェクタおよび／または一体型のツールに顕微鏡を取り付けることにより、手術ツールと常に一列に並ぶ手術部位の視野が外科医に提供される。例えば、顕微鏡は、ツール／エンドエフェクタの下、上、または、そばに取り付けられることで、手術を行う際の干渉を最小限にしつつ、デバイスの表示能力を最大限にすることができる。
【００７２】
大きさを小さくすることで多くの顕微鏡をボア内の同じ手術に使用することができる。
【００７３】
上に記載された配置を、神経外科手術の間に残存脳腫瘍の検出と除去にも使用することができる。
【００７４】
頭蓋内の悪性脳腫瘍は、中枢神経系で最も一般的かつ最も悪性度の高い原発腫瘍であり、すべてのタイプの癌のなかで最悪の予後の１つをもたらす。根本的な外科的切除がこれらの腫瘍の主な処置方法であり、これは放射線治療および／または化学療法でしばしば補充される。外科手術の目的は、患者に任意の神経学的異常をもたすことなく、腫瘍組織のすべてを、または、少なくともできるだけ多くを取り除くことである。ほとんどの脳組織は多くを語るものである。このことは神経学的機能障害を結果としてもたらしかねないため、外科医は任意の正常な脳組織を取り除くことはできない。手術中のＭＲＩの出現によって、正常な脳腫瘍を取り除くことなく切除する量を増やすという外科医の能力は改善された。手術中のＭＲＩは、ナビゲーション機器を不正確にして、腫瘍境界を定義する際の実用性を制限しかねない脳偏位に係る問題をも排除する。
【００７５】
進行中の外科的切除の間に残存腫瘍細胞を検知するための別の方法は、腫瘍細胞にしか付着せずに光の照射下で蛍光を発する化学物質の蛍光画像を使用することである。外科手術の間に撮られるこの光学画像は、外科手術における空洞（ｓｕｒｇｉｃａｌ　ｃａｖｉｔｙ）内の腫瘍細胞の位置を提供する。これはリアルタイムで達成可能であるが、残存腫

瘍組織の表面でのみ目に見えるものである。光学画像は、非常に敏感な脳組織である表面の真下は何であるのかについての情報を提供しない。ＭＲＩ撮像は蛍光撮像ほど感知可能ではなく、したがって、多くの癌細胞はＭＲＩによる検出で認められる必要がある。

【００７６】

本発明は、ＭＲ画像と定量的蛍光画像と組み合わせることで、脳神経外科手術中に存在する残存腫瘍の量を測定し、さらに、この残余腫瘍の切除の際に外科医または手術ロボットをガイドし、かつ、正常な脳が手つかずのまま残されることを確認するものである。外科手術は、適切な時間に撮像するために、磁石を移動可能な可動式のＭＲＩ磁石が装備された手術室で行われるか、または、ＭＲＩを装備した手術室では磁石のボアで行われる。

【００７７】

患者は、脳腫瘍細胞にのみ入り、ひとたびその中に入ると蛍光を発する薬物を投与される。蛍光は手術用顕微鏡またはカメラによって適切な頻度でモニタされる。蛍光は定量的に分析される。蛍光性の薬物はもっぱら腫瘍細胞に存在するため、薬物濃度の定量測定は腫瘍細胞の濃度の尺度である。薬物はすべての腫瘍細胞に入るとは限らないが、濃度は典型的なものである。

【００７８】

ＭＲ撮像は、存在する腫瘍細胞の量のより完全な絵を提供する。蛍光画像へのＭＲ画像の共同登録は蛍光画像を較正するために使用される。腫瘍は非常に異質なものであり、その異質性は、腫瘍細胞の観点と、さらに重要なことには、悪性度の観点の両方においてである。悪性度は腫瘍の悪性の物差しであり、１から４までの領域に及び、４が最も悪性のものである。細胞内に入る蛍光薬物の能力はその等級に依存することが往々にしてあり、薬物のなかには細胞内にただ入って、特定の悪性度の腫瘍のみ（例えば、悪性度４の腫瘍のみ）を標識するものもある。ＭＲＩ画像は通常、悪性度とは比較的無関係であり、したがって、癌細胞母集団のより完全な絵を提供する。

【００７９】

残存腫瘍塊を表わす画像は分割され、そのデータはロボットに転送され、ロボットは、蛍光画像の定量分析によって割り当てられたレベルまで腫瘍を切除する。腫瘍塊の切除は迅速な蛍光撮像によってモニタされる。蛍光画像とともに共同登録されるＭＲ画像は、腫瘍細胞領域を提供するように分割に関与し、かつ、多くを語る敏感な脳構造に関連する領域を締め出す。これらの領域は、ＭＲおよび蛍光の両方によってガイドされた切除のために登録される。蛍光撮像の撮像速度は、ほぼ３０フレーム／秒であるため、切除の際に切除をモニタすることが可能となる。切除は外科医によって磁石の外で行われるか、または、ロボットを用いて磁石内で行われる。ロボットは、迅速な蛍光撮像によって更新される分割された画像を自動的に用いて、腫瘍を切除することができる。脳内でのＭＲＩはこれらの速度に達することができず、妥当な解像度の各々の画像は約５秒かかるため、ロボットは、各々のＭＲＩ画像が記録されると停止するようにプログラムされなければならない。蛍光画像の量子化によってロボットはガイドされる。上記のように、ロボットは切除を自動的に行うことができるか、または、どの組織を取り除かなければならないかに関して外科医によって案内されることが可能である。ＭＲＩは、ロボットによって保持されたツールに、敏感な脳組織が接近していることを外科医に示し、ロボットが敏感な脳組織にかなり接近して切除を行うことを可能にする。多くの種類の組織があるが、好適な例は視神経である。癌組織は本質的に神経の周りでそれ自体を包むことがある。外科医はできるだけ多くの組織を切除したいが、神経機能に任意の有害な作用を与えたくはない。リアルタイムの蛍光と迅速なＭＲＩの組み合わせは、神経機能に影響を与えることなく、最大限の腫瘍組織の切除を可能にする。拡散テンソル画像を使用する手術室のＭＲ画像は、脳内の繊維跡すべて、とりわけ重要なのは腫瘍周辺の繊維跡を示す。再度、組み合わせた撮像技術によって、ロボットが跡の機能に影響を与えることなく、これらの跡に非常に近い任意の腫瘍組織を切除することを可能にする。敏感な領域に近い腫瘍の切除は外科医によって制御することができるか、または、上記のように禁止領域をプログラミングすることによって制御することができる。

【００８０】
腫瘍細胞に付着する蛍光の化学物質は、ＭＲＩ画像と蛍光画像の両方に現われるように、ＭＲＩマーカーも包含する。二組の画像は互いに対して登録される必要があり、これはロボットのツールまたは手術用器具に適切なマーカーを置くことにより達成可能である。
【００８１】
要約すると、２つの撮像技術の組み合わせは、３次元でかつＭＲＩの腫瘍悪性度の撮像とは無関係の蛍光の高感度、迅速な撮像、および、獲得能力の容易さを利用する。ＭＲＩは、同様に、切除の間に正常な脳組織に高いレベルの安全性を提供する。
【００８２】
本発明の利点は、切除の割合の増加と神経学的な障害の減少をもたらすということである。本発明を目新しく革新的なものとしているのは、手術中のＭＲＩと、手術中の蛍光と、ロボットとの組み合わせである。この目的は、外科医（ロボット）が最良の結果につながる手術を行う際に、撮像技術を本質的に同時に利用可能なようにして、常に患者の予後を改善することである。蛍光撮像はほとんど細胞レベルにまでその大きさをもたらし、ロボットはどんな人間の外科医よりもはるかに正確である。
【００８３】
本発明は、腫瘍細胞の細胞レベルでのリアルタイム撮像を、外科医が実際に外科手術を行う際のヒトの脳におけるこれらの腫瘍細胞の環境のほぼリアルタイムの撮像と合わせるものである。これは、切除される腫瘍細胞がどこにあるのかということと、脳の他のすべての部分に対するその位置を外科医が正確に知っているということを意味する。蛍光撮像にＭＲＩを追加することによって、腫瘍が異種性のものである時でさえ、すべての腫瘍塊は検知可能となる。ＭＲＩ撮像と蛍光撮像を組み合わせることによって、撮像は、ボア内とボア外の両方での腫瘍の切除をモニタすることができる。該方法を行うロボットを用いることで、腫瘍は、ＭＲＩと蛍光撮像の両方により、磁石のボア内で切除されることができる。処理される際に両方の画像診断療法を組み合わせることにより、システムは、ロボットまたは外科医に対して、標的組織と立入禁止区域の両方を定義することができる。
【図面の簡単な説明】
【００８４】
本発明の１つの実施形態は、添付の図面とともにこれから記載される。
【図１】撮像システムからのリアルタイムＭＴＲ画像で重なる手術部位とツールをリアルタイムで表示する表示デバイスを備えたＭＲ磁石のボアで作動する顕微鏡下手術用ロボットシステムの概略的な側面図である。
【図２】表示システムの様々な取り付けを示す図１の側面図に類似する概略的な側面図である。
【図３】表示システムを示す概略図である。
【図４】ツールの先端に取り付けた表示デバイスを備える、図１のシステムの１つのロボットアームの概略的な側面図である。
【図５】ツールに隣接するエンドエフェクタに取り付けられた表示デバイスを備える、図１のシステムの１つのロボットアームのエンドエフェクタの概略的な側面図である。
【図６】ＭＲ画像と視覚画像を制御した顕微鏡下手術の概略図である。
【発明を実施するための形態】
【００８５】
図において、参照の類似する特徴は異なる図の対応する部分を示す。
【００８６】
システムの概観が図６に示され、該システムは、ロボット操縦装置（１０）、ワークステーション（１１）、および、ロボット操縦装置とワークステーションの間で通信する制御装置（１２）を含む。ワークステーションへの入力として、同様に、立体顕微鏡（１３）、ＭＲＩ撮像システム（１４）、および、登録システム（１５）も提供される。
【００８７】
ワークステーションは、ＭＲＩ画像のための第１のディスプレイ（１６）と、顕微鏡画

像のための第２のディスプレイ（１７）と、システムステータスのための第３のディスプレイ（１８）を含む多くのディスプレイを有する。さらに、ワークステーションは、（１９）で概略的に示される２つの手動制御装置と、外科医がディスプレイをチェックしながらワークステーションからシステムを制御することを可能にする入力インターフェース（２０）を含む。ワークステーションはさらに、コンピューターまたはプロセッサ（２１）、データ記録システム（２２）、および、電源（２３）を含む。

【００８８】

ディスプレイ（１７）は、立体顕微鏡システム（１３）によって生成された画像を見るために、シミュレートした顕微鏡を提供する立体視ディスプレイ（１７Ａ）を含む。さらに、ディスプレイ（１７）は、顕微鏡システム（１３）からの２次元の画像を表示するモニター（１７Ｂ）を含む。

【００８９】

ロボット操縦装置（１０）は、ワークステーションでモニタ（２５）上の画像を提供するフィールドカメラ（２４）を含む。

【００９０】

磁気共鳴撮像システム（１４）は従来の構造物であり、システムは多くのメーカーから入手可能である。システムがもちろん高度に複雑化して、それ自体の制御システムを含んでいるため、本ワークステーションはモニタ（１６）上の画像の表示のみを必要とするものであり、その画像は既知の登録システムを使用してツールの位置に関連づけられる。

【００９１】

手動制御装置（１９）は多くの異なるソースから入手可能な市販の構造物であり、以下に記載されるようにツールの回転をシミュレートするために外科医が回転させることが可能な端部シャフト（１９Ａ）を含む、外科医が注意深く操作することができる６つの自由度可動アームを含む。ツール上のアクチュエータスイッチにより、外科医は、以下に記載されているように、ロボット上でツールの動作を操作することができる。

【００９２】

ロボット操縦装置は、キャビネット（１０１）と、同様にキャビネット上に配されたフィールドカメラ（２４）とともにキャビネットに取り付けられる２つのアーム（１０２）および（１０３）とを含む。フィールドカメラは、キャビネットの裏側に取り付けられ、ディスプレイ（２５）上に表示するための状況の全体的な概観視野を与えるために、患者と動作部位に対してキャビネットの前面のアーム越しに見る。

【００９３】

ワークステーションとロボット操縦装置の間の通信のための、および、これらの部品の各々の操作を制御するための制御システム（１２）は、力覚センサー（ｆｏｒｃｅ ｓｅｎｓｏｒ）サブシステム（１２１）と、電源とともに動作制御サブシステム（１２２）を含み、さらに、（１２３）で概略的に示されるようなさらなる部品を含む。力覚センサーサブシステムは、手動制御システム（１９）に対するロボットアームのエンドエフェクタで検知されるフィードバック力を制御する。動作制御サブシステム（１２２）は、手動システム（１９）からの動作制御センサーをアームの様々な部品に対する個別の操作指令へと変換する。動作制御サブシステムは、登録システム（１５）によって生成されるように、スクリーン（１６）に表示される画像に対するツールの先端の場所をＭＲＩ撮像モニタ（１６）上に表示するために、ワークステーションに伝えられる出力も提供する。

【００９４】

アームの構造が図４に概略的に示され、ここでアームは、キャビネット支持部への取り付けのために、そのベース（１１１）に取り付けられる。アーム（１０２）および（１０３）の各々は、（２６）で概略的に示されるツールの操作を可能にする多くの関節を含む。したがって、各々のアームは、回転の垂直軸を定義する肩部のヨー旋回軸（ｓｈｏｕｌｄｅｒ ｙａｗ ｐｉｖｏｔ）（１３１）を定義する第１の関節を含む。垂直軸に、水平軸のまわりの回転を提供する肩部の回転関節を形成する第２の関節（１３２）が取り付けられる。肩部のヨー軸は関節（１３２）を通って伸張する。剛性リンク（１３５）は、関節

（１３２）から、肩部の回転関節（１３２）から片持ち梁にされた肘関節（１３６）まで及ぶ。肘関節は、肘部のヨー関節（１３７）とベンド回転関節（１３８）を含む。ヨー関節（１３７）はリンク（１３５）の外端に接続され、垂直軸回りの回転を提供する。回転関節（１３８）は軸に配され、水平軸を提供する。リンク（１４１）は水平軸上にあり、関節（１３８）から（１４２）で一般的に示される手首関節まで外部に伸張する。手首関節（１４２）は手首のヨー関節と手首の回転関節を含む。手首のヨー関節は、回転関節を運ぶリンクが回転可能な垂直軸を提供する。回転関節は水平軸を提供し、該水平軸はその水平軸回りのツール（２６）の回転を可能にする。ツール（２６）は、ツールの回転にその長手軸まわりのツール（２６）の回転を提供する回転関節（１４８）を含む。ツールは、様々な既知のツール設計を用いてツールの動作を提供するために、ツールに沿って長手方向に移動可能なツールアクチュエーター（１４９）をさらに含む。

【００９５】

したがって、様々な軸のまわりの回転を提供するのに必要な力は最小限にされ、重力に逆らって固定される際に位置を維持するのに必要な力が最小限にされる。システム上の力のこの最小化により、ＭＲＩ適合性のモーターを使用することで、夫々の軸の周りの他の関節部品に対する１つの関節部品の回転を駆動させることができる。

【００９６】

上記の配置により、圧電モーターを使用することで、関節を駆動させることができる。そのような圧電モーターは市販で入手可能であり、必要とされる相対的な回転を達成するために関節の部品に対して歯車形軸継手（ｇｅａｒ　ｃｏｕｐｌｉｎｇ）によって接続されるドライブディスクをラチェット効果により回転させるために、圧電結晶によって生成された往復運動効果を利用する。

【００９７】

したがって、閉じられたボア磁石の外側の制限されない領域の顕微鏡下手術のための、または、磁石の配置が２つのアームを動作させるのに必要な手術野を提供するのに適切である、磁石の開いたボア内の手術のための、２つのアーム配置で、ロボットを使用することができる。したがって、２つのアームは、上記のような外科手術を達成するために別のツールと共に使用可能である。場合によっては、単一のアームは、ツールの位置と方向を指示するためにリアルタイムの磁気共鳴画像を用いて、患者の脳内の必要な場所にプローブまたはカニューレを挿入することを含む定位処置を達成するために使用可能である。

【００９８】

図１では、システムは、ＭＲＩシステム（１４）の磁石（３０）のボア内での手術において概略的に示されている。ボア（３１）は比較的小さいため、市販の患者台（３２）は、患者の必要な部分を、ボアに入って、ボア内部の必要な場所に運ぶことができる。フィールドカメラは、ロボット（１０）、特にツール（２６）の操作を観察するためにボア内で使用される。

【００９９】

示されるような本発明の立体顕微鏡システムは、必要な部位を表示するために、患者に隣接する適切な支持部に取り付けられて示されている。立体顕微鏡は２つの別々の撮像システムを含み、該システムはワークステーションでディスプレイ（１７）に適切な接続を通して送信される各々のチャネルのためのものである。したがって、外科医は顕微鏡ディスプレイ（１７Ａ）を介して従来の顕微鏡の形状をした三次元画像を見ることができ、加えて、モニター（１７Ｂ）に表示された二次元画像を見ることができる。

【０１００】

図３に示される立体顕微鏡システムは、患者の一部から光を受け取るための光学アセンブリ（５０）を含み、該光学アセンブリは上記のように２Ｄと３Ｄを生成する際に使用するために配置された立体視部品（５１）および（５２）を含む。

【０１０１】

光学アセンブリは、ズーム、被写界深度、焦点、パン、傾斜、窓部の水平化、色、バランス、遠隔制御装置（５６）からの制御信号に応じた倍率の１以上を調節するために、オ

プトエレクトロニクス（５３）を用いて調節可能である。
【０１０２】
照明光源（５４）はその部分の表示を照らすように光学アセンブリに一体化される。
【０１０３】
左右の光学部品からの光画像は、電子システム（５３）におけるＣＣＤまたは同様のシステムを用いてデジタル電気信号に変換され、該デジタル電気信号は、該部分から受け取った光から生成された画像を見るために、ワークステーション（１０）のディスプレイ（７０）上の表示のための顕微鏡制御システム（５６）に送信される。制御システム（５６）は光学アセンブリを制御するように、および、画像を生成するために機能する。ケーブル（５５）の形状をした通信構造は、光学アセンブリ（５０）とボアの外側の処理システム（５６）との間で通信するために提供される。
【０１０４】
光学アセンブリ（５０）は、ＭＲＩ磁石のボア内にアセンブリを位置付けるように配置されたマウント（５７）を含む。図１では、マウントは、アーム（１０２）と（１０３）に干渉しない位置のボア内の定位置にアセンブリを取り付けるために配置される。光学アセンブリ（５０）は従来の技術を用いて滅菌される。
【０１０５】
光学アセンブリ、制御システム、および、通信構造は、通信とＭＲ撮像を同時に可能にするために、ＭＲＩ磁石と適合するように配置される。これは下記によって達成される。
－電気通信ケーブル信号からの漂遊するＲＦが撮像に影響を与えるのを防ぐ電気通信ケーブル（５５）上のＲＦフィルタ（５７）；
－ＲＦ撮像信号が撮像／符号化デバイスに影響を与えるのを防ぐ電気通信ケーブル（５５）上のＲＦフィルタ（５８）；
－磁場と適合する材料から作られる光学アセンブリと撮像／符号化デバイスのまわりのＲＦエンクロージャ（５９）；
－撮像システムのＲＦ電磁場が熱くなることを防ぐ、電気通信ケーブル（５５）上のケーブルトラップ（６０）；
－磁場が部品に影響を与えるのを防ぐ、部品に隣接する磁気シールド（６１）。
【０１０６】
図１では、撮像／符号化デバイスまたはＣＣＤ（５３）は、光学アセンブリで磁石のボアの患者の近くに配され、制御システム（５６）は、画像データを運ぶ電気信号を伝達するためのワイヤを用いて、その間の通信に係るボアの外側に配される。
【０１０７】
ディスプレイ（７０）がボアの外側の遠隔ディスプレイであるため、顕微鏡下手術は、エフェクターのロボット制御を用いて、遠隔操作位置（１０）で外科医によって実行される。ディスプレイ（７０）は、手術部位の視覚的なリアルタイム最新版を提供し、立体表示のリアルタイム最新版のためのＭＲ画像のリアルタイムの重なりと組み合わされる。すなわち、ＭＲシステムからの画像は視覚画像で登録され、外科医から同時に見えるように重ね合わされる。視覚画像と、さらにＭＴ画像は、以下に説明されるように制御されるため、その表示は互いに適合し、かつ、ツール（２６）の操作と適合する。
【０１０８】
装置は上記の手術ロボットシステムと共に使用される。図５では、光学アセンブリはロボットアーム（１０２）に取り付けられるか、または、２つの別のシステムはアーム（１０２）および（１０３）の夫々１つに取り付けられることで、該アームで動かせるようになる。すなわち、光学アセンブリは、ツールで動かせるように、および、ツールの先端を含む視野Ｆを有するように、ロボットアームに取り付けられる。
【０１０９】
図４では、光学アセンブリ（５０）はツールの先端でツールに取り付けられる。この場合、可能であれば内視鏡下で先端によって動かすことができるように、アセンブリをより小さく作ることができる。

【０１１０】
図２では、光学アセンブリ（５０）は、ロボットアームとは別の支持アーム（５０Ａ）に取り付けられることによって、支持アーム（５０Ａ）で動かすことができ、支持アーム（５０Ａ）は、外科手術に影響を与えるべく動くロボットアーム（１０２）と（１０３）による干渉を避けるために、その運動が制御される。
【０１１１】
先に説明したように、制御システム（５３）は、光学アセンブリに対するロボットアームの移動、または、ツールの移動に応じて、表示パラメーターの１以上を変更すべく光学アセンブリを操作するように配置されたモーター（６２）および（６３）を含む。例えば、制御システムは、ツールの先端の領域に焦点を合わせるための、光学アセンブリに対するツールの移動に応じて、その焦点位置を変更するためにモーター（６２）と（６３）を用いて、光学アセンブリを操作するように配置される。例えば、制御システムは、光学アセンブリに対するツールの移動に応じて、その焦点深度を変更するためにモーター（６２）と（６３）を用いて、光学アセンブリを操作するように配置される。
【０１１２】
加えて、ロボットアーム（１０２）および（１０３）は、表示される画像に関して拡大縮小するアームの移動による、外科医からの入力に応じて移動するように制御される。これは、ディスプレイ（７０）およびシステム（５６）からの情報を運動制御装置サブシステム（１２２）に提供することによって達成され、その結果、手動制御装置（１９）からの入力に応じたツールの移動の量は変わり、すなわち、ディスプレイ（７０）で表示される画像の大きさに依存して増減するようになる。これは移動を制御する際に外科医の助けとなる。なぜなら、外科医が予め決められた距離だけ手動制御装置を移動させることによって達成する移動の量が、表示される画像の縮尺に関係なく表示される移動の量と一致するからである。
【０１１３】
加えて、患者への潜在的な損傷を考慮すると、外科医は、ツールが決して入らないように意図された非タッチ領域を画像中に設定することができる。制御装置（１２２）は、ロボットアームが画像内に示される非タッチ領域に入るのを回避しつつ、ユーザーからの入力に応じて移動するように、ロボットアームを操作すべく配置される。このことは、制御システム（１２２）と撮像システム（５６）の処理プログラムの調整を必要とする。
【０１１４】
加えて、ＭＲ制御システム（１４）は、システム（５６）によって制御されるような表示された視覚画像の変化に応じて、および、システム（１２２）によって制御されるようなツールの移動に応じて、ＭＲ画像を操作するように配置される。
【０１１５】
例えば、ＭＲ制御システム（１４）は、画像内の変化とツールの移動に応じて、解像度、スライス厚と寸法の１つ以上を含むＭＲ画像のスキャンパラメータ、スキャン型（Ｔ１、Ｔ２など）、患者／解剖学的構造の一部を制御するように配置される。加えて、制御システム（１４）は、表示される画像内の変化および／またはツールの移動に応じて、スキャンを始動させるために使用可能である。
【０１１６】
加えて、ＭＲＩの制御システム（１４）は、ツールの先端の位置を検知することから解剖学的画像を提供することまで、ＭＲ撮像を変更するために配置される。
【０１１７】
加えて、制御システムは、画像誘導データを用いて外科医の視野に重ねるか視野を増やすことが可能なＩＧＳシステムに一体化される。
【０１１８】
好ましくは、光学アセンブリは、視覚画像、ＩＲ画像、および／または、蛍光を検知するために配置される。これらはディスプレイ上に表示された視覚画像に変換可能である。
【０１１９】

撮像／符号化デバイスが図２に示されるように、光学アセンブリから離れて配される場合、光学部分（７１）と遠隔ＣＣＤ（７２）との間の通信構造は、光ファイバーシステム、または、光学アセンブリで動かされるライトチューブによって提供される。ライトチューブまたは光ファイバーを用いることで、ＭＲシステムのＲＦ信号と、図１のケーブル内の信号によって生じた任意のＲＦ領域との間の干渉の可能性が回避される。

【０１２０】

別の配置では、ディスプレイは、外科医に取り付けるための頭部装着型ディスプレイとして提供可能である。

【０１２１】

上記の配置を、神経外科手術の間に残りの脳腫瘍の検出と除去にも使用することができる。該配置は、この残存腫瘍の切除において外科医または手術ロボットをガイドするため、かつ、正常な脳に手を付けないままにしておくことを確認するために、神経外科手術の間に存在する残存腫瘍の量を測定すべく、ＭＲ画像と定量的蛍光画像を組み合わせる。外科手術は、適切な時間に撮像するために、磁石を移動可能な可動式のＭＲＩ磁石を装備した手術室で行われるか、または、ＭＲＩを装備した手術室では磁石のボアで行われる。

【０１２２】

したがって、この配置で、上に説明されるように、光学アセンブリ、制御システム（５６）、および、通信構造（５５）は、通信とＭＲ撮像を同時に可能にするようにＭＲＩ磁石と適合し、ＭＲＩシステムはＭＲ画像を生成するように配置され、制御システム（５６）は、ディスプレイ（７０）において、ディスプレイ上の蛍光を含む視覚画像にＭＲ画像を重ね合わせるために、ＭＲＩの制御システム（２０）と連携するように配置される。

【０１２３】

該装置は、１つ以上の手術ツール（２６）を操作するために、少なくとも１つのエンドエフェクタ（１４９）を備えた、少なくとも１つのロボットアーム（１０２）および（１０３）を含む手術ロボットシステム（１０）と共に使用される。撮像システムの制御システム（５６）は、蛍光で放射される光量に関係する定量的情報を生成するために配置される。定量的蛍光画像とＭＲ画像との組み合わせは、神経外科手術の間に存在する残存腫瘍の量を測定するために、かつ、この残存腫瘍の切除の際に外科医または手術ロボットをガイドし、正常な脳は手つかずのままであることを確認すべく、ディスプレイ（７０）上にこの量を表示するために使用される。

【０１２４】

手術中に、患者は、脳腫瘍細胞に排他的に入るとともに、その中にひとたび入ると蛍光を発する薬物を投与される。したがって、蛍光性の薬物が腫瘍細胞にのみ存在するため、薬物濃度の定量測定が腫瘍細胞の濃度の尺度となるように、蛍光は好ましくは定量的に分析される。これにより、ＭＲ撮像は、存在する腫瘍細胞の量のより完全な絵を提供する。

【０１２５】

残存腫瘍塊を表わす画像が分割され、データがロボットに転送され、該ロボットが蛍光画像の定量分析によって割り当てられたレベルまで腫瘍を切除するのに使用されるように、制御システムは操作可能である。

【０１２６】

ディスプレイ上で、蛍光画像と共同登録されるＭＲ画像は、腫瘍細胞領域を提供するように分割に関与し、かつ、多くを語る敏感な脳構造に関連する領域を締め出す。

【０１２７】

蛍光撮像の撮像速度が、ほぼ３０フレーム／秒であるため、切除がリアルタイムで起こる際に該切除をモニタすることが可能となるように、制御部（５６）は操作される。

【０１２８】

ロボットの制御システム（１０）は、各々のＭＲＩ画像が記録されるとロボットの移動を停止するようにプログラムされる。

【０１２９】

ＭＲ画像が脳内の繊維跡すべて、とりわけ重要なのは腫瘍周辺の繊維跡を画像上で示す

拡散テンソル画像を含むように、ＭＲ制御部（２０）は配置される。

【０１３０】

腫瘍細胞に付着する注入された蛍光の化学物質は、ＭＲ画像と蛍光画像の両方に現われるように、ＭＲＩマーカーも含むことができる。

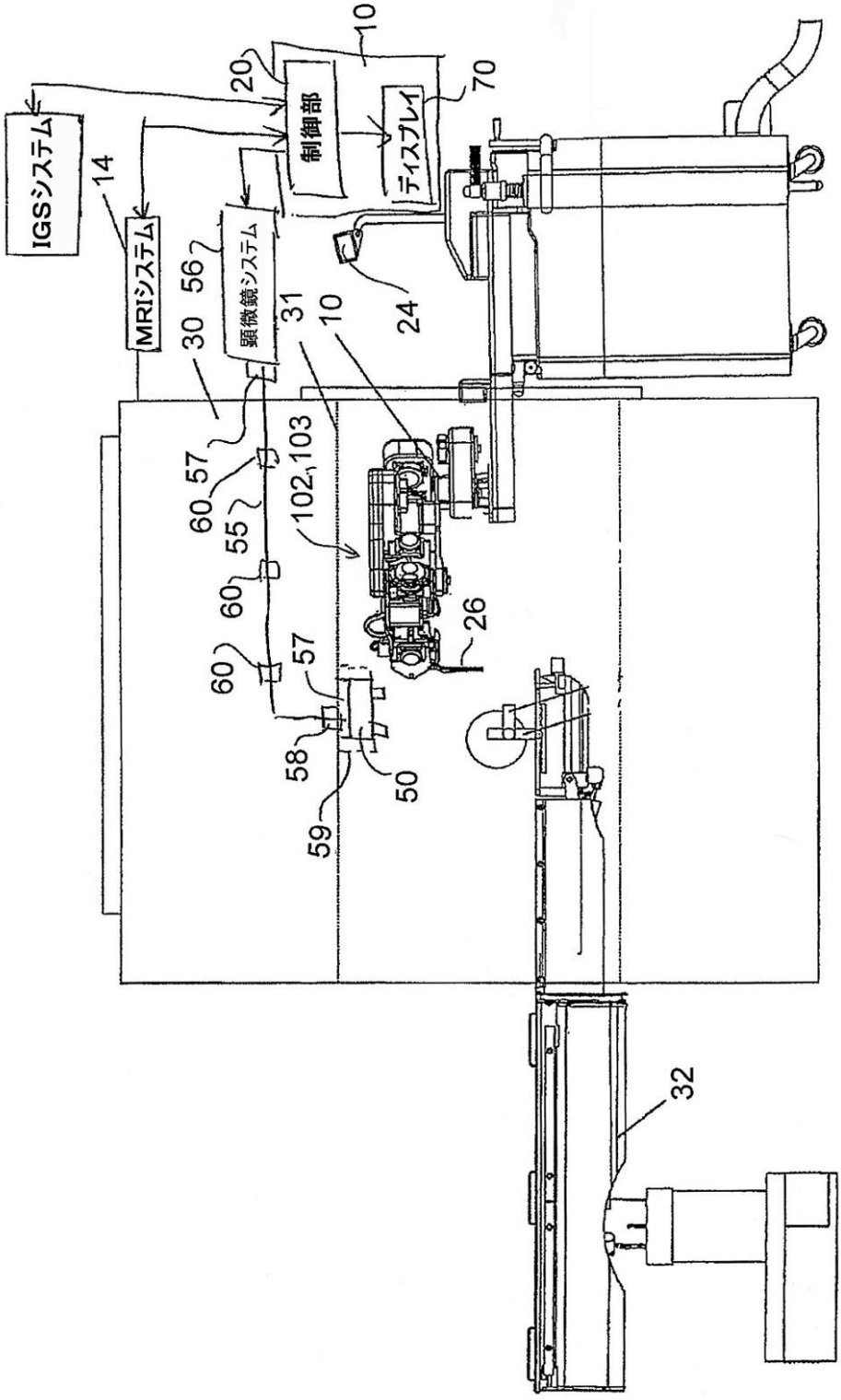
【０１３１】

画像の登録がロボットのツールまたは手術用器具にマーカーを置くことにより達成されるように、登録システムは配置される。

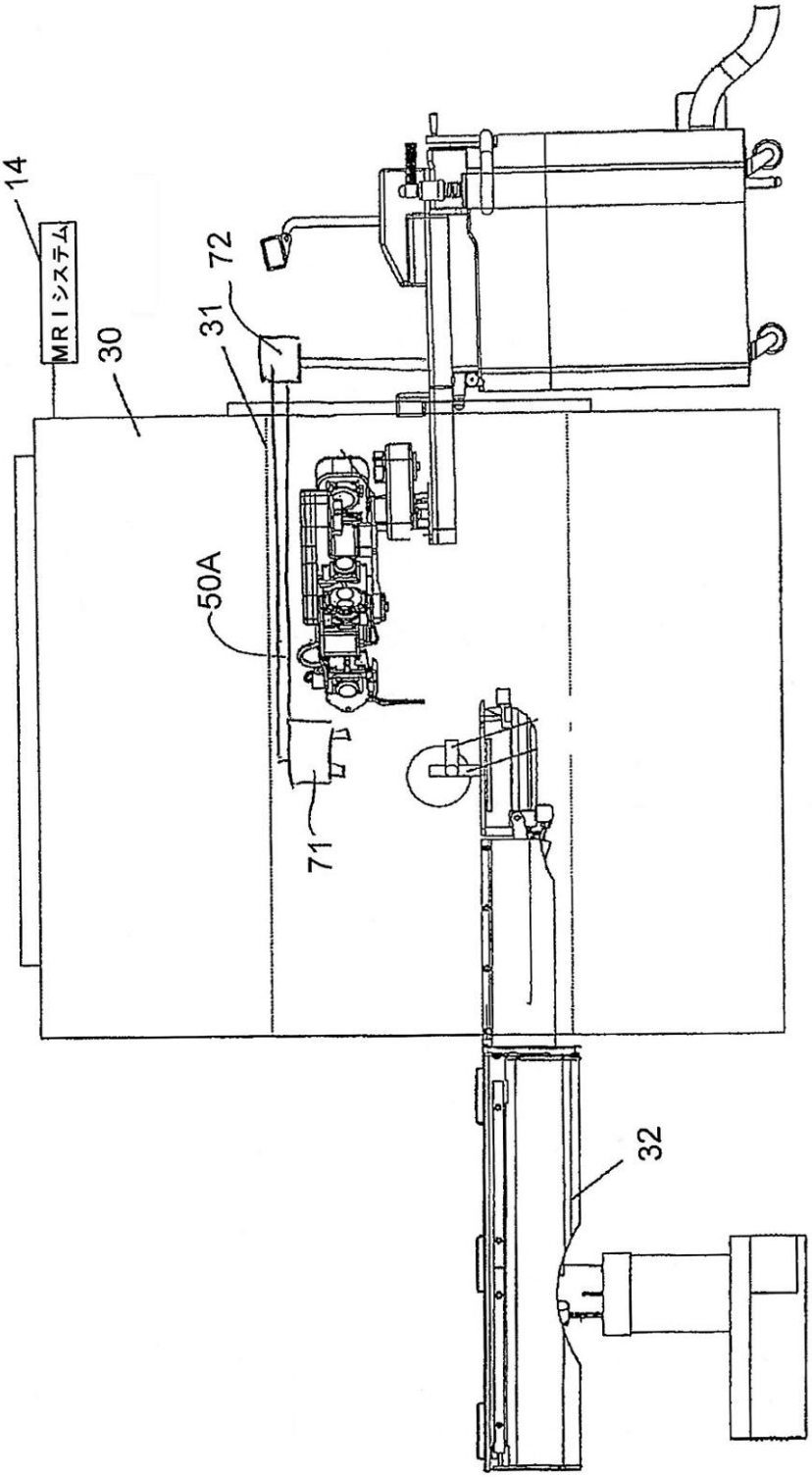
【０１３２】

本明細書に上記の如く記載された私の発明において様々な変更を行うことができ、同じように、多くの明らかに多種多様な実施形態が、特許請求の範囲と精神を逸脱することなく、該精神と範囲内でなされることができるため、添付の明細書に包含されるすべての事は、単に例示目的でのみ解釈され、限定する意味では解釈されないことを理解されたい。

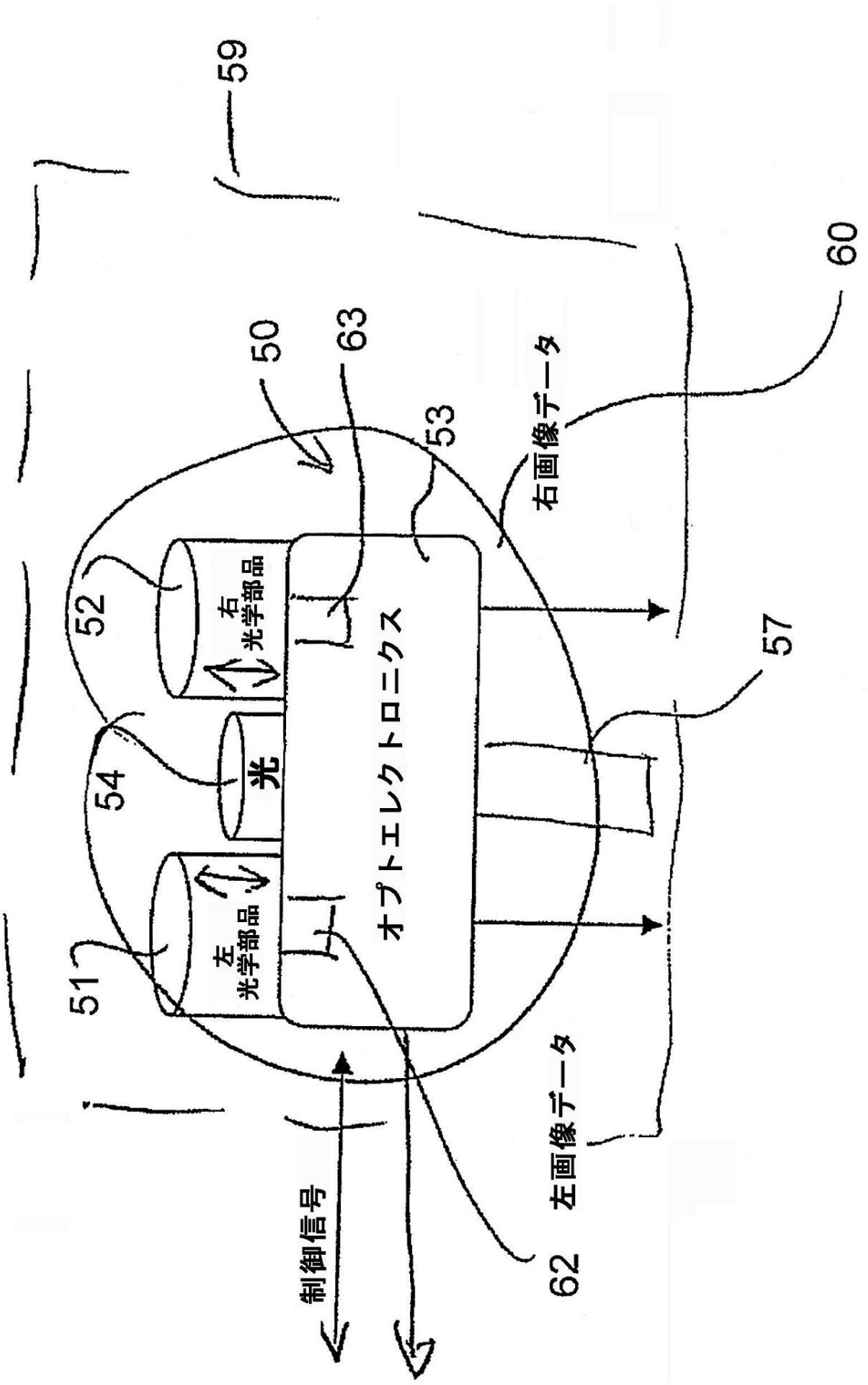
【図１】


IGSシステム
MRIシステム
顕微鏡システム
制御部
ディスプレイ
10
20
70
14
56
30
31
24
57
60
55
102,103
26
58
50
59
32

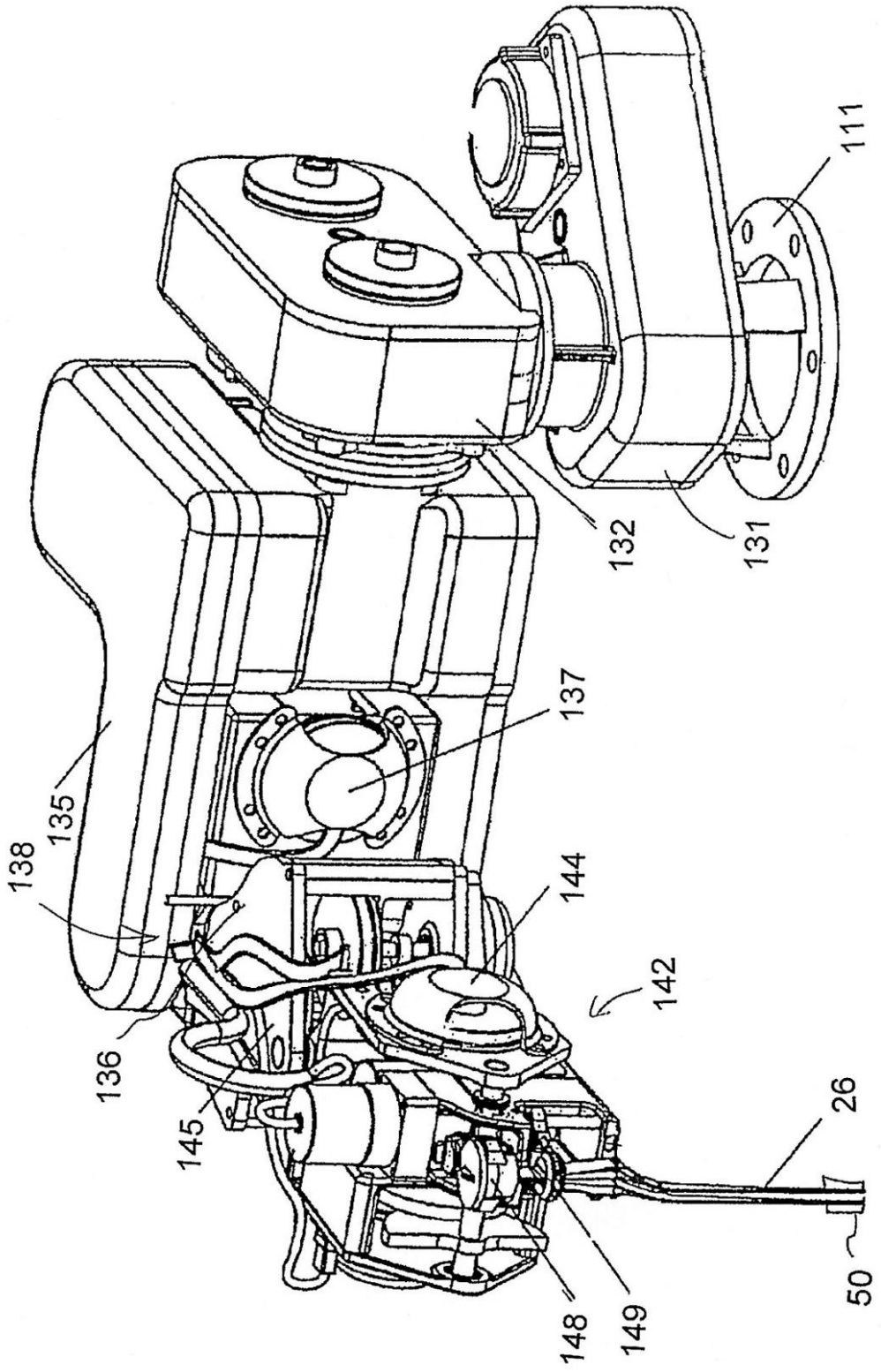
【図２】



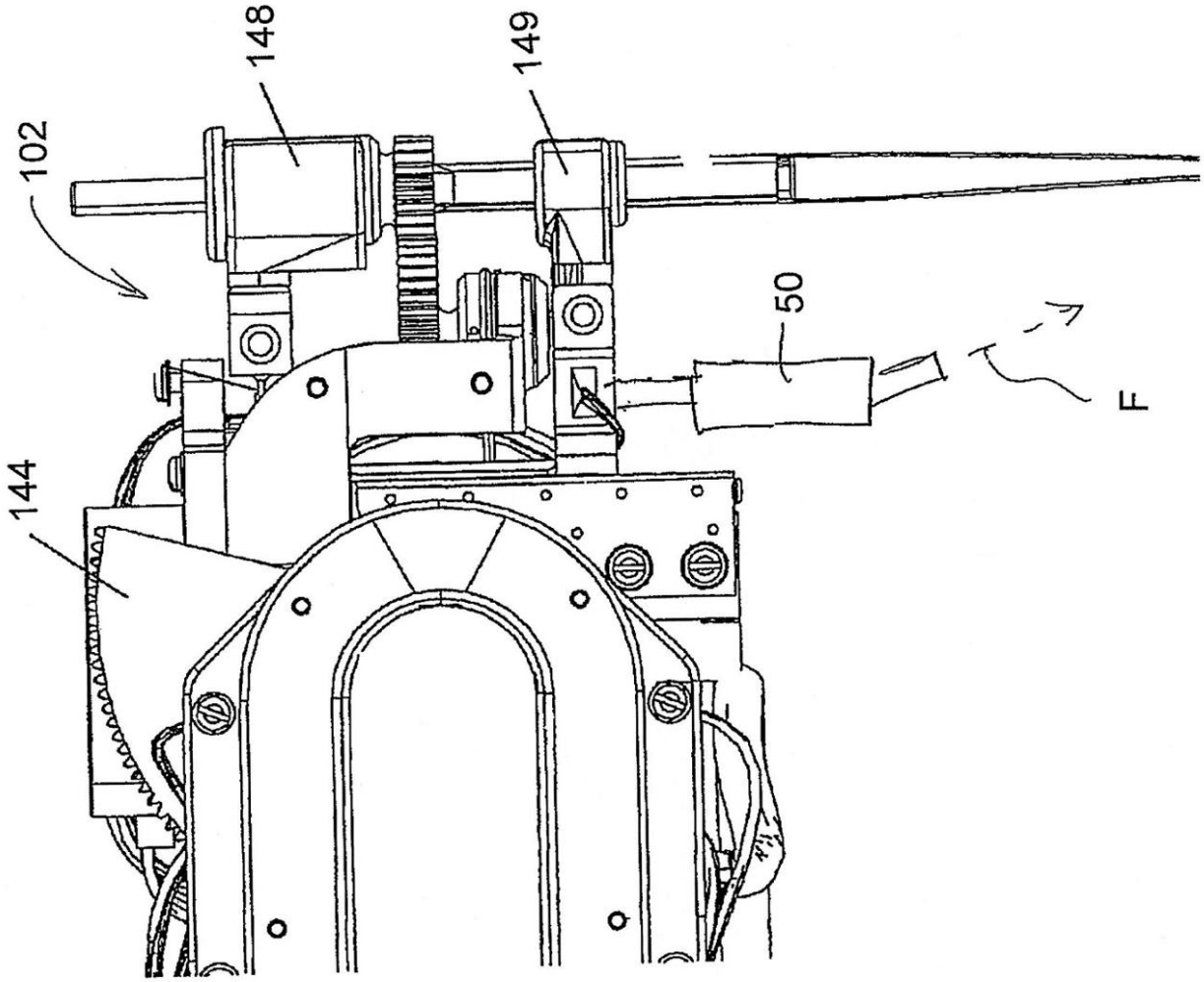
【図３】


59
60
50
63
53
右画像データ
52
右光学部品
光
54
57
51
左光学部品
オプトエレクトロニクス
制御信号
左画像データ
62

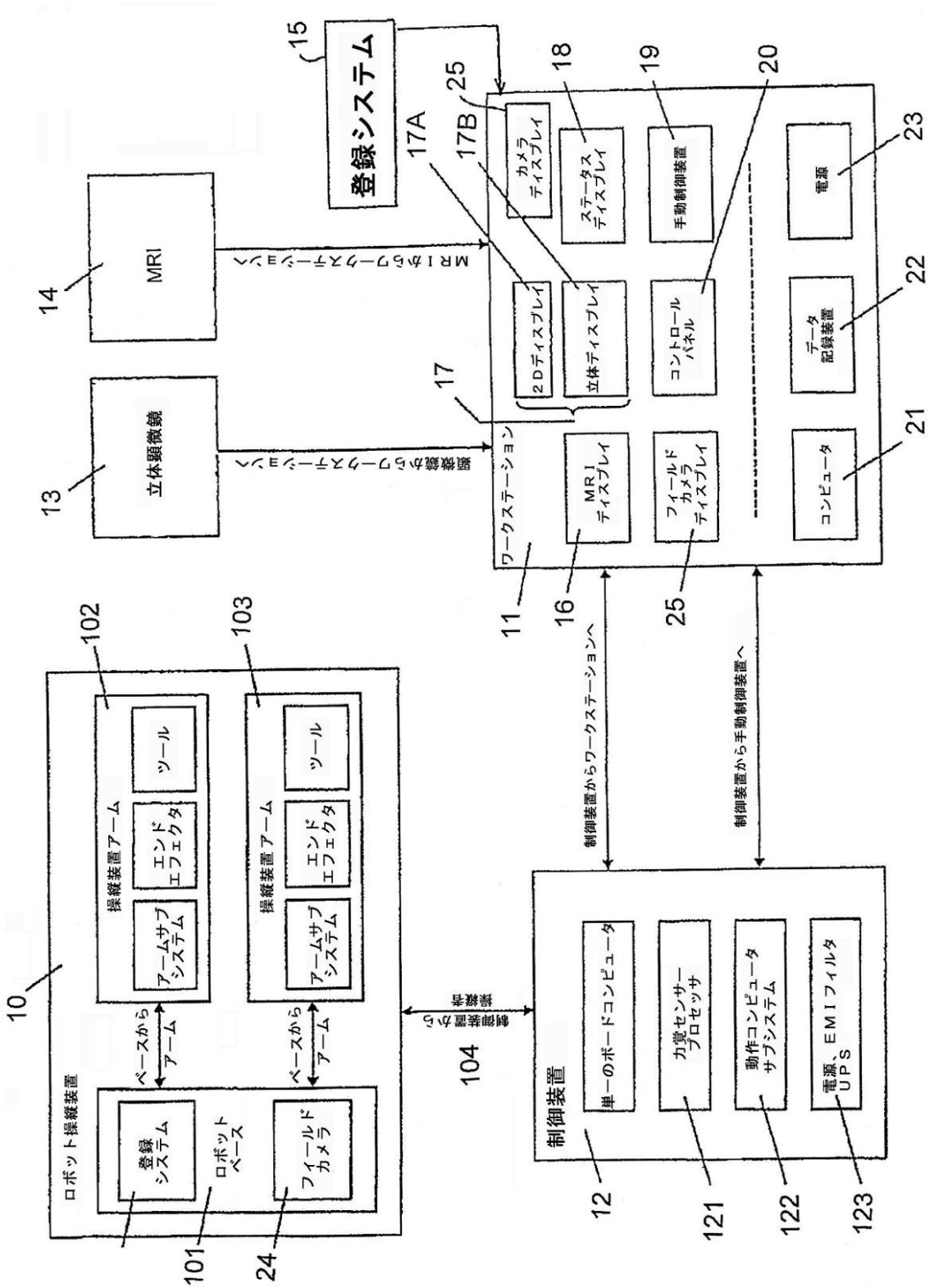
【図４】



【図５】



【図６】


登録システム
15
MRI
14
立体顕微鏡
13
ワークステーション
11
2Dディスプレイ
立体ディスプレイ
17
17A
17B
カメラディスプレイ
ステータスディスプレイ
手動制御装置
コントロールパネル
電源
データ記録装置
コンピュータ
MRIディスプレイ
フィールドカメラディスプレイ
18
19
20
21
22
23
25
16
制御装置からワークステーションへ
制御装置から手動制御装置へ
ロボット操縦装置
10
操縦装置アーム
アームサブシステム
エンドエフェクタ
ツール
102
103
ベースからアーム
ロボットベース
登録システム
フィールドカメラ
101
24
無線装置
104
制御装置
単一のボードコンピュータ
力覚センサープロセッサ
動作コンピュータサブシステム
電源、EMIフィルタUPS
12
121
122
123

フロントページの続き

(72)発明者　ゴード　スカース
カナダ　アール２エヌ　２ダブリュ４　マニトバ州　ウィニペグ　バーランド・アベニュー　４
(72)発明者　ジョン　ケー　サンダース
カナダ　アール３ティー　１エヌ５　マニトバ州　ウィニペグ　ソニー・プレイス　スイート　１００－１３７０　シー／オー
(72)発明者　メイア　ダハン
カナダ　アール３ティー　１エヌ５　マニトバ州　ウィニペグ　ソニー・プレイス　スイート　１００－１３７０　シー／オー

Ｆターム(参考) 4C096 AA08　AA17　AA18　DC33　DD01