

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7584200号
(P7584200)

(45)発行日 令和6年11月15日(2024.11.15)

(24)登録日 令和6年11月7日(2024.11.7)

(51)国際特許分類

F I

A 6 1 B 34/20 (2016.01)

A 6 1 B 34/30 (2016.01)

A 6 1 B 34/20

A 6 1 B 34/30

請求項の数 20 (全103頁)

(21)出願番号	特願2023-513385(P2023-513385)	(73)特許権者	518083032
(86)(22)出願日	令和3年8月25日(2021.8.25)		オーリス ヘルス インコーポレイテッド
(65)公表番号	特表2023-538772(P2023-538772 A)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 6 5 レッドウッド シティ ショアラ イン ドライブ 1 5 0
(43)公表日	令和5年9月11日(2023.9.11)	(74)代理人	100088605
(86)国際出願番号	PCT/IB2021/057795		弁理士 加藤 公延
(87)国際公開番号	WO2022/043896	(74)代理人	100130384
(87)国際公開日	令和4年3月3日(2022.3.3)		弁理士 大島 孝文
審査請求日	令和6年8月20日(2024.8.20)	(72)発明者	スラメック・クリストファー・ケイ
(31)優先権主張番号	63/070,472		アメリカ合衆国、9 4 0 6 5 カリフォルニア州、レッドウッド・シティ、ショアライン・ドライブ 1 5 0
(32)優先日	令和2年8月26日(2020.8.26)	(72)発明者	アイバリ・エリフ
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		アメリカ合衆国、9 4 0 6 5 カリフォルニア州、レッドウッド・シティ、ショアライン・ドライブ 1 5 0
(31)優先権主張番号	63/084,950		
(32)優先日	令和2年9月29日(2020.9.29)		
	最終頁に続く		最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ロボット制御可能な電磁場発生器

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ロボット医療システムであって、
電磁（E M）場発生器に結合するように構成され、前記 E M 場発生器を移動させるように構成された第 1 のロボットアームと、
1 つ又は 2 つ以上のプロセッサであって、
前記 E M 場発生器に関連付けられた E M 座標フレーム内の前記 E M 場内の E M センサの E M 位置を決定することと、
前記第 1 のロボットアームに関連付けられたロボット座標フレーム内の前記 E M 場発生器の位置を決定することと、
前記 E M 場発生器の前記位置に基づいて、前記 E M 座標フレームと前記ロボット座標フレームとの間の位置合わせを決定することと、
前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M センサの位置を決定することと、を行うように構成された、1 つ又は 2 つ以上のプロセッサと、を備える、システム。

【請求項 2】

前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、前記第 1 のロボットアームの運動学に基づいて、前記 E M 場発生器の前記位置を決定するように構成されている、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記 E M 場発生器が、コンパクトな電磁場発生器 (c F G) を備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記第 1 のロボットアームが、前記 E M 場発生器に取り外し可能に結合するように構成されている、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

医療器具の移動を制御するように構成された第 2 のロボットアームを更に備え、
前記ロボット座標フレームが、前記第 2 のロボットアームに更に関連付けられている、
請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 6】

前記第 1 のロボットアーム及び前記第 2 のロボットアームが、可動カートに結合される、請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記第 1 のロボットアーム及び前記第 2 のロボットアームが、医療処置中に患者を支持するように構成された患者プラットフォームに結合される、請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記 E M センサが、前記医療器具上に位置決めされている、請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、医療処置中に患者へのアクセスを可能にするために、前記第 1 のロボットアームに前記 E M 場発生器を移動させるように更に構成されている、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、
前記第 1 のロボットアームに、前記 E M 場発生器を前記 E M センサに対して新しい位置に移動させることと、
前記 E M 場発生器に関連付けられた前記 E M 座標フレーム内の前記 E M 場内の前記 E M センサの新しい E M 位置を決定することであって、前記新しい E M 位置が、前記 E M 位置と比較して改善された精度を有する、決定することと、を行うように更に構成されている、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、前記第 1 のロボットアームに、前記 E M 場発生器を移動させて、前記 E M 場発生器の前記位置及び前記第 1 のロボットアームの前記位置に基づいて、前記 E M 場発生器の作業体積内で前記 E M センサを中心に置くように更に構成されている、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 12】

ロボット医療システムであって、
電磁 (E M) 場発生器であって、前記 E M 場発生器が、患者内に位置決めされた E M ターゲットを検出する E M 場を発生させるように構成されている、電磁 (E M) 場発生器と、
前記 E M 場発生器上に位置決めされており、経皮的に挿入可能な器具を挿入軸に沿って誘導するように構成された器具ガイドと、

前記 E M 場発生器に結合されるように構成された第 1 のロボットアームであって、前記第 1 のロボットアームが、前記 E M 場発生器及び前記器具ガイドの複合構造体を移動させるように更に構成されている、第 1 のロボットアームと、

1 つ又は 2 つ以上のプロセッサであって、
前記患者内に位置決めされた前記 E M ターゲットを決定することと、

前記 E M 場に関連付けられた E M 座標フレーム内の座標を、前記第 1 のロボットアームの運動学的姿勢に関連付けられたロボット座標フレーム内の座標にマッピングする位置合わせを決定することと、

前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの位置を決定することと、

10

20

30

40

50

前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置に基づいて、前記第 1 のロボットアームを移動させて、前記器具ガイドの前記挿入軸を前記 E M ターゲットと整合させ、前記挿入軸が前記 E M ターゲットと整合したときに前記経皮的に挿入可能な器具が前記 E M ターゲットに向けて誘導可能となるようにすることと、を行うように構成された、1 つ又は 2 つ以上のプロセッサと、を備える、ロボット医療システム。

【請求項 13】

軸に沿って延在する経皮的に挿入可能な器具と結合するように構成された第 2 のロボットアームを更に備え、前記第 2 のロボットアームが、前記経皮的に挿入可能な器具を移動させるように更に構成されており、

前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、

前記第 2 のロボットアームを使用して、前記経皮的に挿入可能な器具の前記軸を前記挿入軸と整合させることと、

前記第 2 のロボットアームを使用して、前記 E M ターゲットに向かって前記挿入軸に沿って前記器具ガイドを通して前記経皮的に挿入可能な器具を挿入することと、を行うように更に構成されている、請求項 12 に記載のロボット医療システム。

【請求項 14】

ロボット医療器具と結合するように構成された第 3 のロボットアームを更に備え、前記第 3 のロボットアームが、前記ロボット医療器具が前記患者に挿入されている間に前記ロボット医療器具を制御するように更に構成されており、前記 E M ターゲットが、前記ロボット医療器具上に配置された E M センサを備える、請求項 13 に記載のロボット医療システム。

【請求項 15】

前記位置合わせが、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M 場発生器の位置に基づいて決定され、

前記ロボット座標フレーム内の前記 E M 場発生器の前記位置が、前記第 1 のロボットアームの前記運動学的姿勢に基づいて決定される、請求項 12 に記載のロボット医療システム。

【請求項 16】

前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、

前記 E M 座標フレーム内の前記 E M ターゲットの位置を決定することと、

前記位置合わせに基づいて、前記 E M 座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置を前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置にマッピングすることと、を行うように構成されることによって、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置を決定するように構成されている、請求項 15 に記載のロボット医療システム。

【請求項 17】

前記経皮的に挿入可能な器具が、針、アクセスシース、及び腹腔鏡器具のうちの 1 つを備える、請求項 12 に記載のロボット医療システム。

【請求項 18】

前記器具ガイドは、前記経皮的に挿入可能な器具が挿入される、画定された空間である、請求項 12 に記載のロボット医療システム。

【請求項 19】

前記器具ガイドが、前記 E M 場発生器上に搭載されている、請求項 12 に記載のロボット医療システム。

【請求項 20】

前記器具ガイドが、前記経皮的に挿入可能な器具の挿入運動をある自由度に制限する、請求項 12 に記載のロボット医療システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本明細書に開示されるシステム及び方法は、ロボット医療システムのための電磁場発生器を対象とし、より具体的には、医療システム並びに関連デバイス、システム、及び方法における歪みを検出するためのロボットによって位置決め可能及び／又は制御可能な電磁場発生器を対象とする。

【背景技術】

【0002】

腹腔鏡検査又は内視鏡検査などの医療処置は、患者の内部領域にアクセスし、それを可視化することを伴い得る。腹腔鏡処置では、腹腔鏡アクセスポートを通して医療器具を内部領域に挿入することができる。内視鏡処置では、薄い可撓性の管状医療器具を、患者の自然開口部を通して内部領域の中に挿入することができる。医療器具は、処置中に機能を実行するように構成されたエンドエフェクタを含むことができる。

10

【0003】

特定の処置では、ロボット対応の医療システムを使用して、医療器具及びエンドエフェクタの挿入及び／又は操作を制御することができる。ロボット対応の医療システムは、処置中の器具の位置決めを制御するために使用されるマニピュレータアセンブリを有するロボットアーム又はその他の器具位置決めデバイスを含むことができる。

【0004】

ロボット対応の医療システムは、医療器具の位置を、医療器具上に位置決めされ得る1つ又は2つ以上の位置センサの出力に基づいて決定するように構成され得る。

【発明の概要】

20

【課題を解決するための手段】

【0005】

ロボット医療システムは、システムのロボットアームに結合する（又は別様で統合される）ように構成された電磁（electromagnetic、EM）場発生器を含み得る。かかるEM場発生器は、ロボットアームを使用して制御又は再位置決めすることができるため、ロボット制御可能又は位置決め可能と見なすことができる。EM場発生器は、1つ又は2つ以上のEMセンサの位置を決定し得る磁場を生成することができる。EM場発生器はロボットアームに結合されるので、ロボットアームの運動学を使用して、EM場発生器のEM座標フレームとシステムのロボット座標フレーム又はグローバル座標フレームとの間の位置合わせを確立することができる。

30

【0006】

この構成は、EM座標フレームとロボット又はグローバル座標フレームとの間の関係を確立するためにユーザ入力を必要とし得る、より複雑な位置合わせステップの必要性を低減又は排除することができる。この構成はまた、例えば、ロボットアームに対応する電磁場発生器の設定を改善すること、医療器具を追跡すること、システムのセンサに影響を及ぼし得る歪みを検出することによって、EMセンサの位置が決定される精度を改善し、追加のモダリティとのセンサ融合を容易にすることができる。

【0007】

ロボット制御可能又は位置決め可能なEM場発生器のこれら及び他の特徴及び利点は、以下でより詳細に説明される。本開示のシステム、方法及びデバイスはそれぞれ、複数の革新的側面を有し、そのうちのいかなるものも、本明細書に開示される望ましい属性に単独で関与しない。

40

【図面の簡単な説明】

【0008】

開示される態様は、以下、開示された態様を例示し、かつ限定しないように提供される添付の図面と併せて説明され、同様の称号は同様の要素を示す。

【図1】例示的な実施形態による、診断及び／又は治療気管支鏡検査法のために配置されたカートベースのロボットシステムの一実施形態を示す図である。

【図2】例示的な実施形態による、図1のロボットシステムの更なる態様を示す図である。

【図3】例示的な実施形態による、尿管鏡検査のために配置された図1のロボットシステ

50

ムの一実施形態を示す図である。

【図 4】例示的な実施形態による、血管処置のために配置された図 1 のロボットシステムの一実施形態を示す図である。

【図 5】例示的な実施形態による、気管支鏡処置のために配置されたテーブルベースのロボットシステムの一実施形態を示す図である。

【図 6】例示的な実施形態による、図 5 のロボットシステムの代替図である。

【図 7】例示的な実施形態による、例示的な一実施形態による、ロボットアームを収容するように構成された例示的なシステムを示す図である。

【図 8】例示的な実施形態による、尿管鏡処置のために構成されたテーブルベースのロボットシステムの一実施形態を示す図である。

10

【図 9】例示的な実施形態による、腹腔鏡処置のために構成されたテーブルベースのロボットシステムの一実施形態を示す図である。

【図 10】例示的な実施形態による、ピッチ又は傾斜調整を有する、図 5 ~ 図 9 のテーブルベースのロボットシステムの一実施形態を示す図である。

【図 11】例示的な実施形態による、図 5 ~ 図 10 のテーブルベースのロボットシステムのテーブルとカラムとの間のインターフェースの詳細図である。

【図 12】例示的な実施形態による、テーブルベースのロボットシステムの代替的な一実施形態を示す図である。

【図 13】例示的な実施形態による、図 12 のテーブルベースのロボットシステムの端面図である。

20

【図 14】例示的な実施形態による、ロボットアームが取り付けられたテーブルベースのロボットシステムの端面図である。

【図 15】例示的な実施形態による例示的な器具ドライバを示す図である。

【図 16】例示的な実施形態による、対になった器具ドライバを有する例示的な医療器具を示す図である。

【図 17】例示的な実施形態による、駆動ユニットの軸が器具の細長いシャフトの軸と平行である、器具ドライバ及び器具のための代替設計を示す図である。

【図 18】例示的な実施形態による、器具ベースの挿入アーキテクチャを有する器具を示す図である。

【図 19】例示的な実施形態による例示的なコントローラを示す図である。

30

【図 20】例示的な実施形態による、図 16 ~ 図 18 の器具の場所など、図 1 ~ 図 10 のロボットシステムの 1 つ又は 2 つ以上の要素の場所を推定する位置特定システムを示すブロック図である。

【図 21】作業体積を有する磁場を生成する、例示的な E M 場発生器を示す図である。例示的な実施形態による、E M 場発生器の作業体積内に位置決めされた例示的な E M センサも示されている。

【図 22 A】例示的な実施形態による、図 21 の E M 場発生器を含むロボット医療システムの一実施形態を示す斜視図である。

【図 22 B】例示的な実施形態による、図 22 A のロボット医療システムと関連付けられたロボット座標フレームを E M 場発生器と関連付けられた E M 座標系と位置合わせするために使用され得る、例示的な位置合わせステップを示す図である。

40

【図 22 C】例示的な実施形態による、図 22 A のロボット医療システムと関連付けられたロボット座標フレームを E M 場発生器と関連付けられた E M 座標系と位置合わせするために使用され得る、例示的な位置合わせステップを示す図である。

【図 23】例示的な実施形態による、システムのロボットアームに結合されたロボット制御可能な電磁場発生器の一実施形態を含むロボット医療システムの一実施形態を示す斜視図である。

【図 24】例示的な実施形態による、ロボットアームに結合するように構成されたロボット制御可能な電磁場発生器の一実施形態の斜視図である。

【図 25】例示的な実施形態による、図 24 のロボット制御可能な電磁場発生器が、ロボ

50

ットアームの器具駆動機構に結合するように構成され得ることを示す図である。

【図 2 6】例示的な実施形態による、ロボットアームに結合するように構成されたロボット制御可能な電磁場発生器を使用してロボット医療処置を実施するための方法の一実施形態を示すフローチャートである。

【図 2 7 A】例示的な実施形態による、解剖学的特徴の自動器具追跡及びマッピングのために構成されたロボット制御可能な電磁場発生器を含むロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 2 7 B】例示的な実施形態による、解剖学的特徴の自動器具追跡及びマッピングのために構成されたロボット制御可能な電磁場発生器を含むロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

10

【図 2 8 A】例示的な実施形態による、電磁場発生器の設定及び載置を容易にし、その作業体積を拡張するために構成されたロボット制御可能な電磁場発生器を含む、ロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 2 8 B】例示的な実施形態による、電磁場発生器の設定及び載置を容易にし、その作業体積を拡張するために構成されたロボット制御可能な電磁場発生器を含む、ロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 2 9】例示的な実施形態による、システムのロボットアームに結合されたロボット制御可能な電磁場発生器を含むロボット医療システムの一実施形態を表すブロック図である。

【図 3 0 A】例示的な実施形態による、E M センサが E M 場内の所定の位置に位置決めされるように、ロボットアームを用いて E M 場発生器を移動させる例を示す斜視図である。

20

【図 3 0 B】例示的な実施形態による、E M センサが E M 場内の所定の位置に位置決めされるように、ロボットアームを用いて E M 場発生器を移動させる例を示す斜視図である。

【図 3 1 A】例示的な実施形態による、E M センサが E M 場内の所定の領域内に位置決めされるように、ロボットアームを用いて E M 場発生器を移動させる例を示す斜視図である。

【図 3 1 B】例示的な実施形態による、E M センサが E M 場内の所定の領域内に位置決めされるように、ロボットアームを用いて E M 場発生器を移動させる例を示す斜視図である。

【図 3 2 A】例示的な実施形態による、E M センサの移動経路を追跡する経路に沿って、ロボットアームを用いて E M 場発生器を移動させる例を示す斜視図である。

【図 3 2 B】例示的な実施形態による、E M センサの移動経路を追跡する経路に沿って、ロボットアームを用いて E M 場発生器を移動させる例を示す斜視図である。

30

【図 3 3 A】例示的な実施形態による、経路に沿って移動する E M センサが E M 場の所定の領域内に位置決めされたままとなるようにロボットアームを用いて E M 場発生器を移動させる例を示す斜視図である。

【図 3 3 B】例示的な実施形態による、経路に沿って移動する E M センサが E M 場の所定の領域内に位置決めされたままとなるようにロボットアームを用いて E M 場発生器を移動させる例を示す斜視図である。

【図 3 3 C】例示的な実施形態による、経路に沿って移動する E M センサが E M 場の所定の領域内に位置決めされたままとなるようにロボットアームを用いて E M 場発生器を移動させる例を示す斜視図である。

【図 3 3 D】例示的な実施形態による、経路に沿って移動する E M センサが E M 場の所定の領域内に位置決めされたままとなるようにロボットアームを用いて E M 場発生器を移動させる例を示す斜視図である。

40

【図 3 4】例示的な実施形態による、ロボットアームに結合された E M 場発生器を、E M 場内の E M センサの決定された位置に基づいて移動させるための例示的な方法を提供するフローチャートである。

【図 3 5 A】例示的な実施形態による、E M 場内の複数の E M センサの決定された位置に基づいて、ロボットアームを使用して、E M 場発生器を電磁場発生器位置に移動させる例を示す斜視図である。

【図 3 5 B】例示的な実施形態による、E M 場内の複数の E M センサの決定された位置に基づいて、ロボットアームを使用して、E M 場発生器を電磁場発生器位置に移動させる例

50

を示す斜視図である。

【図 3 6 A】例示的な実施形態による、E M 場発生器の電磁場発生器位置を、E M 場内の複数の E M センサの決定された位置に基づいて、ロボットアームを使用して再調整する例を示す斜視図であり、複数の E M センサのうちの少なくとも 1 つは移動している。

【図 3 6 B】例示的な実施形態による、E M 場発生器の電磁場発生器位置を、E M 場内の複数の E M センサの決定された位置に基づいて、ロボットアームを使用して再調整する例を示す斜視図であり、複数の E M センサのうちの少なくとも 1 つは移動している。

【図 3 6 C】例示的な実施形態による、E M 場発生器の電磁場発生器位置を、E M 場内の複数の E M センサの決定された位置に基づいて、ロボットアームを使用して再調整する例を示す斜視図であり、複数の E M センサのうちの少なくとも 1 つは移動している。

10

【図 3 7】例示的な実施形態による、ロボットアーム上に搭載された E M 場発生器の電磁場発生器位置を、E M 場内の複数の E M センサの決定された位置に基づいて決定するための例示的な方法を示すフローチャートである。

【図 3 8 A】例示的な実施形態による、電磁場発生器の作業体積を拡張するようにロボットアームとともに移動され得るロボット制御可能な電磁場発生器を含む、ロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 3 8 B】例示的な実施形態による、電磁場発生器の作業体積を拡張するようにロボットアームとともに移動され得るロボット制御可能な電磁場発生器を含む、ロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 3 8 C】例示的な実施形態による、電磁場発生器の作業体積を拡張するようにロボットアームとともに移動され得るロボット制御可能な電磁場発生器を含む、ロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

20

【図 3 9 A】例示的な実施形態による、E M センサの位置を検出し、電磁場発生器の作業体積を拡張するように、ロボットアームとともに移動され得るロボット制御可能な電磁場発生器を含む、ロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 3 9 B】例示的な実施形態による、E M センサの位置を検出し、電磁場発生器の作業体積を拡張するように、ロボットアームとともに移動され得るロボット制御可能な電磁場発生器を含む、ロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 3 9 C】例示的な実施形態による、E M センサの位置を検出し、電磁場発生器の作業体積を拡張するように、ロボットアームとともに移動され得るロボット制御可能な電磁場発生器を含む、ロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

30

【図 3 9 D】例示的な実施形態による、E M センサの位置を検出し、電磁場発生器の作業体積を拡張するように、ロボットアームとともに移動され得るロボット制御可能な電磁場発生器を含む、ロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 4 0 A】例示的な実施形態による、電磁場発生器の拡張された作業体積内の E M センサの位置を追跡するようにロボットアームとともに移動され得るロボット制御可能な電磁場発生器を含む、ロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 4 0 B】例示的な実施形態による、電磁場発生器の拡張された作業体積内の E M センサの位置を追跡するようにロボットアームとともに移動され得るロボット制御可能な電磁場発生器を含む、ロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

40

【図 4 0 C】例示的な実施形態による、電磁場発生器の拡張された作業体積内の E M センサの位置を追跡するようにロボットアームとともに移動され得るロボット制御可能な電磁場発生器を含む、ロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 4 0 D】例示的な実施形態による、電磁場発生器の拡張された作業体積内の E M センサの位置を追跡するようにロボットアームとともに移動され得るロボット制御可能な電磁場発生器を含む、ロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 4 1 A】例示的な実施形態による、ロボット制御可能な電磁場発生器の作業体積を拡張するための例示的な方法を示すフローチャートである。

【図 4 1 B】例示的な実施形態による、ロボット制御可能な電磁場発生器の作業体積を拡張するための別の例示的な方法を示すフローチャートである。

50

【図 4 2 A】例示的な実施形態による、経皮的に挿入可能な器具と E M ターゲットとの整合を容易にするように構成されたロボット制御可能な電磁場発生器を有するロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 4 2 B】例示的な実施形態による、経皮的に挿入可能な器具と E M ターゲットとの整合を容易にするように構成されたロボット制御可能な電磁場発生器を有するロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 4 2 C】例示的な実施形態による、経皮的に挿入可能な器具と E M ターゲットとの整合を容易にするように構成されたロボット制御可能な電磁場発生器を有するロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 4 3 A】例示的な実施形態による、電磁場発生器上に搭載された器具ガイドと、E M ターゲットとの整合を容易にするように構成されたロボット制御可能な電磁場発生器を有するロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

10

【図 4 3 B】例示的な実施形態による、電磁場発生器上に搭載された器具ガイドと、E M ターゲットとの整合を容易にするように構成されたロボット制御可能な電磁場発生器を有するロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 4 4 A】例示的な実施形態による、器具ガイドと E M ターゲットとの整合を容易にするように構成されたロボット制御可能な電磁場発生器を有するロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 4 4 B】例示的な実施形態による、器具ガイドと E M ターゲットとの整合を容易にするように構成されたロボット制御可能な電磁場発生器を有するロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

20

【図 4 5 A】例示的な実施形態による、ロボット制御可能な電磁場発生器を使用して、経皮的に挿入可能な器具を E M ターゲットと整合させるための方法を示すフローチャートである。

【図 4 5 B】例示的な実施形態による、ロボット制御可能な電磁場発生器を使用して、経皮的に挿入可能な器具のための器具ガイドを E M ターゲットと整合させるための方法を示すフローチャートである。

【図 4 6 A】例示的な実施形態による、E M 歪みを検出するために、固定された E M 位置センサに対して E M 場発生器を移動させるロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

30

【図 4 6 B】例示的な実施形態による、図 4 6 A の E M 場発生器の移動中のロボット軌道と E M センサ軌道との比較を示す図である。

【図 4 6 C】例示的な実施形態による、位置及び向きの変化を考慮することができる E M 歪みを検出するために、固定された E M 位置センサに対して E M 場発生器を移動させるロボット医療システムの一実施形態を示す図である。

【図 4 7】例示的な実施形態による、E M 歪み検出のための例示的な方法を示すフローチャートである。

【図 4 8】例示的な実施形態による、E M 歪み検出のための別の例示的な方法を示すフローチャートである。

【図 4 9 A】例示的な実施形態による、超音波プローブの撮像面を較正するための手順の間、超音波プローブが取り付けられているロボット医療システムを示す図である。

40

【図 4 9 B】E M 場発生器及び超音波プローブを含むロボット医療システムを示す図である。例示的な実施形態によれば、超音波プローブの撮像面は、ロボットツール及び E M センサの位置を撮像面上にオーバーレイすることができるように、ロボット座標フレーム及び E M 座標フレームに対して較正される。

【図 5 0】例示的な実施形態による、ロボット医療システムとともに使用するための超音波プローブの撮像面を較正する例示的な方法を示すフローチャートである。

【図 5 1 A】例示的な実施形態による、ロボット医療システムのロボットアームに取り付けられた深度センサを使用して生成された例示的な熱及び点マップを示す図である。

【図 5 1 B】例示的な実施形態による、ロボット医療システムのロボットアームに取り付

50

けられた深度センサを使用して生成された例示的な熱及び点マップを示す図である。

【図 5 1 C】例示的な実施形態による、例示的な深度センサの一実施形態を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

1. 概論。

本開示の態様は、腹腔鏡などの低侵襲性処置、及び内視鏡などの非侵襲性処置の両方を含む、様々な医療処置を行うことができるロボット対応の医療システムに統合され得る。内視鏡処置のうち、システムは、気管支鏡検査、尿管鏡検査、胃鏡検査などを行うことができる。

【0010】

幅広い処置を行うことに加えて、システムは、医師を支援するための強調された撮像及び誘導などの追加の利益を提供することができる。追加的に、システムは、厄介な腕の運動及び姿勢を必要とせずに、人間工学的な位置から処置を行う能力を医師に提供することができる。また更に、システムは、システムの器具のうちの 1 つ又は 2 つ以上が単一のユーザによって制御され得るように、改善された使いやすさで処置を行う能力を医師に提供することができる。

【0011】

以下、説明を目的として、図面と併せて、様々な実施形態が説明される。開示される概念の多くの他の実装形態が可能であり、開示される実装形態で様々な利点が達成され得ることを理解されたい。見出しが、参照のために本明細書に含まれ、様々なセクションの位置を特定する支援となる。これらの見出しは、それらに関して説明される概念の範囲を限定することを意図するものではない。かかる概念は、本明細書全体にわたって適用可能性を有し得る。

【0012】

A. ロボットシステム - カート。

ロボット対応の医療システムは、特定の処置に応じて様々な方法で構成され得る。図 1 は、診断及び / 又は治療用気管支鏡検査のために配置されたカートベースのロボット対応のシステム 10 の一実施形態を示している。気管支鏡検査の間、システム 10 は、気管支鏡検査のための処置専用気管支鏡であり得る操縦可能な内視鏡 13 などの医療器具を、診断及び / 又は治療用具を送達するための自然開口部アクセスポイント（すなわち、本例ではテーブル上に位置決めされた患者の口）に送達するための 1 つ又は 2 つ以上のロボットアーム 12 を有するカート 11 を含むことができる。示されるように、カート 11 は、アクセスポイントへのアクセスを提供するために、患者の上部胴体に近接して位置決めすることができる。同様に、ロボットアーム 12 は、気管支鏡をアクセスポイントに対して位置決めするために作動され得る。図 1 の構成はまた、胃腸管（gastro-intestinal、GI）処置を、GI 処置に特化した内視鏡である胃鏡を用いて行うときに利用することができる。図 2 は、カートの例示的な一実施形態をより詳細に示している。

【0013】

図 1 を引き続き参照すると、カート 11 が適切に位置決めされると、ロボットアーム 12 は、操縦可能な内視鏡 13 をロボットで、手動で、又はそれらの組み合わせで患者に挿入することができる。示されるように、操縦可能な内視鏡 13 は、内側リーダー部分及び外側シース部分などの少なくとも 2 つの入れ子部品を含んでもよく、各部分は、器具ドライバ 28 の組のうちの別個の器具ドライバに結合され、各器具ドライバは、個々のロボットアームの遠位端に結合されている。リーダー部分をシース部分と同軸に整合させるのを容易にする、器具ドライバ 28 のこの直線構成は、1 つ又は 2 つ以上のロボットアーム 12 を異なる角度及び / 又は位置に操作することによって空間内に再位置決めされ得る「仮想レール」29 を形成する。本明細書に記載される仮想レールは、破線を使用して図に図示されており、したがって破線は、システムの物理的構造を図示しない。仮想レール 29 に沿った器具ドライバ 28 の並進は、外側シース部分に対して内側リーダー部分を入れ子にするか、又は内視鏡 13 を患者から前進若しくは後退させる。仮想レール 29 の角度

10

20

30

40

50

は、臨床用途又は医師の好みに基づいて調整、並進、及び駆動されてもよい。例えば、気管支鏡検査では、示されるような仮想ルール 29 の角度及び位置は、内視鏡 13 を患者の口内に曲げ入れることによる摩擦を最小限に抑えながら内視鏡 13 への医師のアクセスを提供する折衷案を表す。

【0014】

内視鏡 13 は、ターゲットの目的地又は手術部位に到達するまで、ロボットシステムからの正確なコマンドを使用して挿入後に患者の気管及び肺の下流に向けられてもよい。患者の肺網を通したナビゲーションを容易にし、及び / 又は所望のターゲットに到達するために、内視鏡 13 を操縦して、内側リーダー部分を外側シース部分から入れ子状に延ばして、高められた関節運動及びより大きい曲げ半径を得てもよい。別個の器具ドライバ 28 の使用により、リーダー部分及びシース部分が互いに独立して駆動されることも可能となる。

10

【0015】

例えば、内視鏡 13 は、例えば、患者の肺内の病変又は小結節などのターゲットに生検針を送達するように方向付けられてもよい。針を、内視鏡の長さにもわたる作業チャンネルの下方に展開されて、病理医によって分析される組織サンプルを得てもよい。病理の結果に応じて、追加の生検のために追加のツールを内視鏡の作業チャンネルの下方に展開されてもよい。小結節を悪性であると特定した後、内視鏡 13 は、潜在的ながん組織を切除するためにツールを内視鏡的に送達してもよい。一部の場合では、診断及び治療的処置は、別の処置中に送達されてもよい。これらの状況において、内視鏡 13 はまた、標的小結節の場所を「マーク」するために基準を送達するために使用されてもよい。他の例では、診断及び治療的処置は、同じ処置中に送達されてもよい。

20

【0016】

システム 10 はまた、カート 11 に支持ケーブルを介して接続されて、カート 11 への制御、電子機器、流体力学、光学系、センサ、及び / 又は電力のためのサポートを提供し得る移動可能なタワー 30 を含んでもよい。タワー 30 内にかかる機能を置くことにより、動作を行う医師及びそのスタッフがより容易に調整及び / 又は再位置決めすることができより小さいフォームファクタのカート 11 が可能となる。追加的に、カート / テーブルと支持タワー 30 との間の機能の分割は、手術室の乱雑さを低減し、臨床ワークフローの改善を容易にする。カート 11 は患者に近接して位置決めされてもよいが、タワー 30 は、処置中に邪魔にならないように離れた場所に収容されてもよい。

30

【0017】

上述したロボットシステムをサポートするために、タワー 30 は、例えば、永続的な磁気記憶ドライブ、ソリッドステートドライブなどの非一時的コンピュータ可読記憶媒体内にコンピュータプログラム命令を記憶するコンピュータベースの制御システムの構成要素を含んでもよい。これらの命令の実行は、実行がタワー 30 内で行われるのか又はカート 11 内で行われるのかにかかわらず、システム全体又はそのサブシステムを制御してもよい。例えば、コンピュータシステムのプロセッサによって実行された場合、命令により、ロボットシステムの構成要素が、関連するキャリッジ及びアームマウントを作動させ、ロボットアームを作動させ、医療器具を制御してもよい。例えば、制御信号を受信したことに応答して、ロボットアームの関節内のモータは、アームをある特定の姿勢に位置決めしてもよい。

40

【0018】

タワー 30 は、内視鏡 13 を通して展開することができるシステムに、制御された灌注及び吸引機能を提供するために、ポンプ、流量計、弁制御、及び / 又は流体アクセスも含み得る。これらの構成要素はまた、タワー 30 のコンピュータシステムを使用して制御されてもよい。一部の実施形態では、灌注及び吸引能力は、別個のケーブルを介して内視鏡 13 に直接送達されてもよい。

【0019】

タワー 30 は、フィルタリングされ、保護された電力をカート 11 に提供するように設

50

計された電圧及びサージ保護具を含んでもよく、それによって、カート 11 内に電力変圧器及び他の補助電力構成要素を載置することが回避され、その結果カート 11 はより小さく、より移動可能になる。

【0020】

タワー 30 は、ロボットシステム 10 全体に配置されたセンサのための支持機器も含んでもよい。例えば、タワー 30 は、ロボットシステム 10 のあらゆる場所の光センサ又はカメラから受信したデータを検出、受信、及び処理するためのオプトエレクトロニクス機器を含んでもよい。制御システムと組み合わせて、かかるオプトエレクトロニクス機器は、タワー 30 内を含むシステム全体に配置された任意の数のコンソール内に表示するためのリアルタイム画像を生成するために使用されてもよい。同様に、タワー 30 はまた、配置された電磁 (EM) センサから信号を受信し、受信した信号を処理するための電子サブシステムも含んでもよい。タワー 30 はまた、医療器具内又は医療器具上の EM センサによる検出のために EM 場発生器を収容し、位置決めするためにも使用されてもよい。

10

【0021】

タワー 30 はまた、システムの残りの部分で利用可能な他のコンソール、例えば、カートの上部に搭載されたコンソールに追加して、コンソール 31 も含んでもよい。コンソール 31 は、オペレータである医師のためのユーザインターフェース及びタッチスクリーンなどの表示画面を含んでもよい。システム 10 内のコンソールは、一般に、ロボット制御、並びに内視鏡 13 のナビゲーション情報及び位置特定情報などの処置の術前及びリアルタイム情報の両方を提供するように設計される。コンソール 31 が医師に利用可能な唯一のコンソールではない場合、コンソール 31 は、看護師などの第 2 のオペレータによって使用されて、患者の健康又はバイタル、及びシステム 10 の動作を監視するだけでなく、ナビゲーション情報及び位置特定情報などの処置固有のデータを提供してもよい。他の実施形態では、コンソール 31 は、タワー 30 とは別個の本体内に収容される。

20

【0022】

タワー 30 は、1 つ又は 2 つ以上のケーブル又は接続部 (図示せず) を介してカート 11 及び内視鏡 13 に結合されてもよい。一部の実施形態では、タワー 30 からのサポート機能は、単一ケーブルを通してカート 11 に提供されることにより、手術室を簡略化し、整理整頓することができる。他の実施形態では、特定の機能は、別個の配線及び接続部で結合されてもよい。例えば、単一の電力ケーブルを通してカート 11 に電力が供給されてもよい一方、制御、光学系、流体工学、及び / 又はナビゲーションのためのサポートは、別個のケーブルを通して提供されてもよい。

30

【0023】

図 2 は、図 1 に示されるカートベースのロボット対応のシステムからのカート 11 の一実施形態の詳細な図を提供する。カート 11 は、概して、細長い支持構造 14 (「カラム」と称されることが多い)、カート基部 15、及びカラム 14 の頂部にあるコンソール 16 を含む。カラム 14 は、1 つ又は 2 つ以上のロボットアーム 12 (図 2 には 3 つ示されている) の展開を支持するためのキャリッジ 17 (代替的に「アーム支持体」) などの 1 つ又は 2 つ以上のキャリッジを含んでもよい。キャリッジ 17 は、患者に対してより良好に位置決めするために垂直軸に沿って回転してロボットアーム 12 の基部を調整する、個別に構成可能なアームマウントを含んでもよい。キャリッジ 17 はまた、キャリッジ 17 がカラム 14 に沿って垂直方向に並進することを可能にするキャリッジインターフェース 19 を含む。

40

【0024】

キャリッジインターフェース 19 は、キャリッジ 17 の垂直方向の並進を誘導するためにカラム 14 の両側に位置決めされているスロット 20 などのスロットを通してカラム 14 に接続されている。スロット 20 は、キャリッジ 17 をカート基部 15 に対して様々な垂直方向の高さで位置決めし、保持するための垂直方向の並進インターフェースを含む。キャリッジ 17 の垂直方向の並進により、カート 11 は、様々なテーブルの高さ、患者のサイズ、及び医師の好みを満たすようにロボットアーム 12 のリーチを調整することが可

50

能となる。同様に、キャリッジ 17 上の個別に構成可能なアームマウントにより、ロボットアーム 12 のロボットアーム基部 21 を様々な構成で角度付けすることが可能となる。

【0025】

一部の実施形態では、キャリッジ 17 が垂直方向に並進するときにコラム 14 の内部チャンバ及び垂直方向の並進インターフェース内に汚れ及び流体が侵入するのを防止するために、スロット 20 には、スロット表面と同一平面及び平行であるスロットカバーが追加されてもよい。スロットカバーは、スロット 20 の垂直方向の頂部及び底部付近に位置決めされているばねスプールのペアを通じて展開されてもよい。カバーは、キャリッジ 17 が上下に垂直方向に並進するにつれてコイル状態から伸縮するように展開されるまで、スプール内でコイル巻きにされている。スプールのばね荷重は、キャリッジ 17 がスプール

10

【0026】

コラム 14 は、例えば、コンソール 16 からの入力などのユーザ入力に応答して生成された制御信号に応答してキャリッジ 17 を機械的に並進させるために垂直方向に整合された主ねじを使用するように設計された、ギア及びモータなどの機構を内部に含んでもよい。

【0027】

ロボットアーム 12 は、概して、一連の関節 24 によって接続されている一連のリンク 23 によって分離された、ロボットアーム基部 21 及びエンドエフェクタ 22 を含んでもよく、各関節は独立したアクチュエータを含み、各アクチュエータは、独立して制御可能なモータを含む。独立して制御可能な各関節は、ロボットアーム 12 が利用可能な独立した自由度を表す。ロボットアーム 12 の各々は、7つの関節を有してもよく、したがって、7つの自由度を提供することが可能である。多数の関節は、多数の自由度をもたらし、「冗長」自由度を可能にする。冗長自由度を有することにより、ロボットアーム 12 は、異なるリンク位置及び関節角度を使用して空間内の特定の位置、向き、及び軌道で、それらのそれぞれのエンドエフェクタ 22 を位置決めすることが可能となる。これにより、システムが空間内の所望のポイントから医療器具を位置決めし、方向付けることが可能になると同時に、医師がアーム関節を患者から離れる臨床的に有利な位置へと移動させて、アームの衝突を回避しながらよりよいアクセスを生み出すことを可能にする。

20

30

【0028】

カート基部 15 は、床の上のコラム 14、キャリッジ 17、及びロボットアーム 12 の重量の釣り合いをとる。したがって、カート基部 15 は、電子機器、モータ、電源、並びにカート 11 の移動及び／又は固定化のいずれかを可能にする構成要素などの、より重い部品を収容する。例えば、カート基部 15 は、処置前にカート 11 が部屋の中をあちこちに容易に移動することを可能にする、転動可能なホイール形状のキャスト 25 を含む。適切な位置に到達した後、キャスト 25 は、処置中にカート 11 を所定の場所に保持するためのホイールロックを使用して動かないようにされてもよい。

40

【0029】

コラム 14 の垂直方向の端部に位置決めされたコンソール 16 は、ユーザ入力を受信するためのユーザインターフェース及び表示画面（又は、例えば、タッチスクリーン 26 などの二重目的デバイス）の両方を可能にして、術前データ及び術中データの両方を医師であるユーザに提供する。タッチスクリーン 26 上の潜在的な術前データは、術前計画、術前コンピュータ断層撮影（CT スキャン）から導出されたナビゲーション及びマッピングデータ、並びに／又は術前患者のインタビューからのメモを含み得る。ディスプレイ上の術中データは、ツールから提供される光学情報、センサからのセンサ及び座標情報、並びに呼吸、心拍数、及び／又はパルスなどの不可欠な患者統計を含んでもよい。コンソール 16 は、医師が、コラム 14 の、キャリッジ 17 の反対の側からコンソール 16 にアクセ

50

スすることを可能にするように位置決めされ、傾斜が付けられてもよい。この位置から、医師は、コンソール 16 をカート 11 の背後から操作しながら、コンソール 16、ロボットアーム 12、及び患者を見ることができる。示されるように、コンソール 16 はまた、カート 11 の操作及び安定化を支援するハンドル 27 を含む。

【0030】

図 3 は、尿管鏡検査のために配置された、ロボット対応のシステム 10 の一実施形態を示している。尿管鏡検査処置では、カート 11 は、患者の尿道及び尿管を横断するように設計された処置専用内視鏡である尿管鏡 32 を患者の下腹部領域に送達するように位置決めされてもよい。尿管鏡検査では、尿管鏡 32 が患者の尿道と直接整合されて、領域内の敏感な解剖学的構造に対する摩擦及び力を低減することが望ましいことがある。示されるように、カート 11 は、ロボットアーム 12 が尿管鏡 32 を、患者の尿道に直線状に直接アクセスするように位置決めすることを可能にするように、テーブルの脚部に整合されてもよい。テーブルの脚部から、ロボットアーム 12 は、尿道を通して患者の下腹部に直接、仮想レール 33 に沿って尿管鏡 32 を挿入してもよい。

10

【0031】

気管支鏡検査におけるのと同様の制御技法を使用して尿道に挿入した後、尿管鏡 32 は、診断及び/又は治療用途のために、膀胱、尿管、及び/又は腎臓にナビゲートされてもよい。例えば、尿管鏡 32 は、尿管及び腎臓に向けられ、尿管鏡 32 の作業チャネルの下方に展開されたレーザー又は超音波結碎石術デバイスを使用して、形成された腎臓結石を破碎することができる。碎石術が完了した後、結果として得られた結石片は、尿管鏡 32 の下方に展開されたバスケットを使用して除去されてもよい。

20

【0032】

図 4 は、血管処置のために同様に配置された、ロボット対応のシステム 10 の一実施形態を示している。血管処置において、システム 10 は、カート 11 が、操縦可能なカテーテルなどの医療器具 34 を、患者の脚内の大腿動脈内のアクセスポイントに送達することができるように構成され得る。大腿動脈は、ナビゲーションのためのより大きな直径と、患者の心臓への、遠回りが比較的少ない曲がりくねった経路との両方を呈し、これによりナビゲーションが簡略化される。尿管鏡検査処置におけるように、カート 11 は、患者の脚及び下腹部に向けて位置決めされて、ロボットアーム 12 が患者の大腿/腰領域内の大腿動脈アクセスポイントへの直接的な線形アクセスで仮想レール 35 を提供することを可能にしてもよい。動脈内への挿入後、器具ドライバ 28 を並進させることによって医療器具 34 が方向付けられ、挿入されてもよい。代替的に、カートは、例えば、肩及び手首付近の頸動脈及び腕動脈などの代替的な血管アクセスポイントに到達するために、患者の上腹部の周囲に位置決めされてもよい。

30

【0033】

B. ロボットシステム - テーブル。

ロボット対応の医療システムの実施形態はまた、患者テーブルを組み込んでもよい。テーブルの組み込みは、カートを除去することによって手術室内の資本設備の量を低減し、これにより患者へのより良好なアクセスが可能となる。図 5 は、気管支鏡検査処置のために配置された、かかるロボット対応のシステムの一実施形態を示している。システム 36 は、プラットフォーム 38 (「テーブル」又は「ベッド」として図示) を床より上に支持するための支持構造体又はカラム 37 を含む。カートベースのシステムと同様に、システム 36 のロボットアーム 39 のエンドエフェクタは、器具ドライバ 42 の線形配列から形成された仮想レール 41 を通して、又はそれに沿って、図 5 の気管支鏡 40 などの細長い医療器具を操作するように設計された器具ドライバ 42 を含む。実際には、蛍光透視撮像を提供するための C アームは、放射器及び検出器をテーブル 38 の周囲に置くことによって、患者の上部腹部領域の上方に位置決めされてもよい。

40

【0034】

図 6 は、説明を目的として、患者及び医療器具なしのシステム 36 の代替的な図を提供する。示されるように、カラム 37 は、1 つ又は 2 つ以上のロボットアーム 39 の基部と

50

なり得る、システム 3 6 内でリング形状として図示される 1 つ又は 2 つ以上のキャリッジ 4 3 を含んでもよい。キャリッジ 4 3 は、カラム 3 7 の長さ にわたる垂直方向のカラム インターフェース 4 4 に沿って並進して、ロボットアーム 3 9 が患者に到達するように位置 決めされ得る異なるバンテージポイントを提供してもよい。キャリッジ 4 3 は、カラム 3 7 内に位置決めされている機械的モータを使用してカラム 3 7 の周りを回転して、ロボッ トアーム 3 9 が、例えば、患者の両側などのテーブル 3 8 の多数の側部へのアクセスを有 することを可能にしてもよい。複数のキャリッジを有する実施形態では、キャリッジはカ ラム上に個別に位置決めされてもよく、他のキャリッジとは独立して並進及び / 又は回転 してもよい。キャリッジ 4 3 はカラム 3 7 を取り囲む必要はなく、又は更には円形である 必要もないが、図示されるようなリング形状は、構造的バランスを維持しながらカラム 3 7 の周りでのキャリッジ 4 3 の回転を容易にする。キャリッジ 4 3 の回転及び並進により、 システム 3 6 は、内視鏡及び腹腔鏡などの医療器具を患者の異なるアクセスポイントに 整合させることができる。他の実施形態（図示せず）では、システム 3 6 は、並行して延 在するバー又はレールの形態の調整可能なアーム支持体を有する患者テーブル又はベッ ドを含み得る。1 つ又は 2 つ以上のロボットアーム 3 9 を、（例えば、肘関節を有する肩部 を介して）垂直方向に調整することができる調整可能なアーム支持体に取り付けることが できる。垂直方向の調整を提供することによって、ロボットアーム 3 9 は、有利には、患 者テーブル又はベッドの下にコンパクトに収容されることが可能であり、その後、処置中 に引き上げられることが可能である。

10

【 0 0 3 5 】

20

ロボットアーム 3 9 は、ロボットアーム 3 9 に追加の構成可能性を提供するために個別 に回転し得る及び / 又は入れ子式に延び得る一連の関節を含むアームマウント 4 5 の組を 介してキャリッジ 4 3 に搭載されてもよい。追加的に、アームマウント 4 5 は、キャリッ ジ 4 3 が適切に回転されると、アームマウント 4 5 がテーブル 3 8 の同じ側（図 6 に示す ように）、テーブル 3 8 の両側（図 9 に示すように）、又はテーブル 3 8 の隣接する側部 （図示せず）のいずれかに位置決めされ得るように、キャリッジ 4 3 上に位置決めされ得 る。

【 0 0 3 6 】

カラム 3 7 は、テーブル 3 8 の支持及びキャリッジ 4 3 の垂直方向の並進のための経路 を構造的に提供する。内部に、カラム 3 7 は、キャリッジの垂直方向の並進を誘導するた めの主ねじ、及び主ねじに基づくキャリッジ 4 3 の並進を機械化するためのモータを備え ていてもよい。カラム 3 7 はまた、キャリッジ 4 3 及びその上に搭載されたロボットアーム 3 9 に電力及び制御信号を伝達してもよい。

30

【 0 0 3 7 】

テーブル基部 4 6 は、図 2 に示すカート 1 1 のカート基部 1 5 と同様の機能を果たし、 テーブル / ベッド 3 8、カラム 3 7、キャリッジ 4 3、及びロボットアーム 3 9 の釣り合 いをとるためにより重い構成要素を収容する。テーブル基部 4 6 はまた、処置中に安定性 を提供するために剛性キャストを組み込んでもよい。テーブル基部 4 6 の底部から展開さ れるキャストは、基部 4 6 の両側で反対方向に延在し、システム 3 6 を移動させる必要が あるときに後退してもよい。

40

【 0 0 3 8 】

引き続き図 6 を参照すると、システム 3 6 はまた、テーブルとタワーとの間でシステム 3 6 の機能を分割して、テーブルのフォームファクタ及びバルクを低減するタワー（図示 せず）を含んでもよい。先に開示された実施形態と同様に、タワーは、処理、計算、及び 制御能力、電力、流体工学、並びに / 又は光学及びセンサ処理などの様々なサポート機能 をテーブルに提供してもよい。タワーはまた、医師のアクセスを改善し、手術室を整理整 頓するために、患者から離れて位置決めされるように移動可能であってもよい。追加的に、タワー内に構成要素を配置することにより、ロボットアーム 3 9 の潜在的な収容のため に、テーブル基部 4 6 内の保管空間をより大きくすることが可能となる。タワーはまた、 キーボード及び / 又はペンダントなどのユーザ入力のためのユーザインターフェース、並

50

びにリアルタイム撮像、ナビゲーション、及び追跡情報などの術前及び術中情報のための表示画面（又はタッチスクリーン）の両方を提供するマスターコントローラ又はコンソールも含んでもよい。一部の実施形態では、タワーはまた、送気のために使用されるガスタンク用のホルダを含んでもよい。

【0039】

一部の実施形態では、テーブル基部は、使用されていないときにロボットアームを収容して格納してもよい。図7は、テーブルベースのシステムの一実施形態における、ロボットアームを収容するシステム47を示している。システム47では、キャリッジ48は、ロボットアーム50、アームマウント51、及びキャリッジ48を基部49内に収容するために、基部49内へと垂直方向に並進させられてもよい。基部カバー52は、並進及び後退して、キャリッジ48、アームマウント51、及びロボットアーム50をコラム53の周りに展開させるように開き、使用されていないときにそれらを収容して保護するように閉じられてもよい。基部カバー52は、閉じたときに汚れ及び流体の侵入を防止するために、その開口部の縁部に沿って膜54で封止されてもよい。

10

【0040】

図8は、尿管鏡検査処置のために構成されたロボット対応のテーブルベースシステムの一実施形態を示している。尿管鏡検査では、テーブル38は、患者をコラム37及びテーブル基部46からオフアングルに位置決めするためのスイベル部分55を含んでもよい。スイベル部分55は、スイベル部分55の底部をコラム37から離して位置決めするために、（例えば、患者の頭部の下方に位置する）枢動点を中心に回転又は枢動してもよい。例えば、スイベル部分55の枢動により、Cアーム（図示せず）が、テーブル38の下のコラム（図示せず）と空間を奪い合うことなく、患者の下部腹部の上方に位置決めされることが可能となる。コラム37の周りにキャリッジ（図示せず）を回転させることにより、ロボットアーム39は、尿道に到達するように、尿管鏡56を仮想レール57に沿って患者の鼠径部領域に直接挿入してもよい。尿管鏡検査では、処置中に患者の脚の位置を支持し、患者の鼠径部領域への明確なアクセスを可能にするために、テーブル38のスイベル部分55にあぶみ58もまた固定されてもよい。

20

【0041】

腹腔鏡処置では、患者の腹壁内の小さな切開部を通して、低侵襲性器具を患者の解剖学的構造に挿入してもよい。一部の実施形態では、低侵襲性器具は、患者内の解剖学的構造にアクセスするために使用されるシャフトなどの細長い剛性部材を含む。患者の腹腔の膨張後、器具は、把持、切断、アブレーション、縫合などの外科的又は医療的タスクを行うように指示されてもよい。一部の実施形態では、器具は、腹腔鏡などのスコープを含み得る。図9は、腹腔鏡検査処置のために構成されたロボット対応のテーブルベースのシステムの一実施形態を示している。図9に図示されるように、システム36のキャリッジ43は回転し、垂直方向に調整されて、器具59が患者の両側の最小切開部を通過して患者の腹腔に到達するようにアームマウント45を使用して位置決めされ得るように、ロボットアーム39の対をテーブル38の両側に位置決めしてもよい。

30

【0042】

腹腔鏡処置に対応するために、ロボット対応のテーブルシステムはまた、プラットフォームを所望の角度に傾斜させてもよい。図10は、ピッチ又は傾斜調整を有するロボット対応の医療システムの一実施形態を示している。図10に示すように、システム36は、テーブル38の傾斜に適應して、テーブルの一方の部分了他方の部分より床から離れた距離に位置決めすることができる。追加的に、アームマウント45は、ロボットアーム39がテーブル38と同じ平面関係を維持するように、傾斜に一致するように回転してもよい。より急な角度に適應するために、コラム37はまた、テーブル38が床に接触するか又はテーブル基部46と衝突するのを防ぐためにコラム37が垂直方向に延長するのを可能にする入れ子部分60を含んでもよい。

40

【0043】

図11は、テーブル38とコラム37との間のインターフェースの詳細な図を提供する

50

。ピッチ回転機構 6 1 は、カラム 3 7 に対するテーブル 3 8 のピッチ角を多数の自由度で変更するように構成されてもよい。ピッチ回転機構 6 1 は、カラム - テーブルインターフェースでの直交軸 1、2 の位置決めによって可能にされてもよく、各軸は、電気ピッチ角コマンドに応答して別個のモータ 3、4 によって作動される。一方のねじ 5 に沿った回転は、一方の軸 1 における傾斜調整を可能にし、他方のねじ 6 に沿った回転は、他方の軸 2 に沿った傾斜調整を可能にする。一部の実施形態では、カラム 3 7 に対するテーブル 3 8 のピッチ角を複数の自由度で変更するために、玉継ぎ手を使用されてもよい。

【0044】

例えば、ピッチ調整は、テーブルをトレンデレンブルグ体位に位置決めしようとするときに、すなわち下腹部手術のために患者の下腹部を患者の上腹部よりも床からより高い位置に位置決めしようとするときに、特に有用である。トレンデレンブルグ体位により、患者の内臓が重力によって患者の上腹部に向かってスライドし、腹腔が空になり、低侵襲性ツールが入って腹腔鏡前立腺切除術などの下腹部の外科又は医療処置が行われる。

【0045】

図 1 2 及び図 1 3 は、テーブルベースの外科用ロボットシステム 1 0 0 の代替的な実施形態の等角図及び端面図を示している。外科用ロボットシステム 1 0 0 は、1 つ又は 2 つ以上のロボットアームをテーブル 1 0 1 に対して支持するように構成され得る 1 つ又は 2 つ以上の調整可能なアーム支持体 1 0 5 (例えば、図 1 4 参照)を含む。図示の実施形態では、単一の調整可能なアーム支持体 1 0 5 が示されているが、テーブル 1 0 1 の反対側に追加のアーム支持体 1 0 5 を設けることができる。調整可能なアーム支持体 1 0 5 は、テーブル 1 0 1 に対して移動して、調整可能なアーム支持体 1 0 5 及び / 又はそれに搭載された任意のロボットアームの位置をテーブル 1 0 1 に対して調整及び / 又は変更できるように構成され得る。例えば、調整可能なアーム支持体 1 0 5 は、テーブル 1 0 1 に対して 1 つ又は 2 つ以上の自由度で調整することができる。調整可能なアーム支持体 1 0 5 は、1 つ又は 2 つ以上の調整可能なアーム支持体 1 0 5 及びそれに取り付けられた任意のロボットアームをテーブル 1 0 1 の下に容易に収容する能力を含む高い汎用性をシステム 1 0 0 に提供する。調整可能なアーム支持体 1 0 5 は、収容位置から、テーブル 1 0 1 の上面の下の方の位置まで上昇され得る。他の実施形態では、調整可能なアーム支持体 1 0 5 は、収容位置から、テーブル 1 0 1 の上面の上方の位置まで上昇され得る。

【0046】

調整可能なアーム支持体 1 0 5 は、リフト、横方向並進、傾斜などを含む、複数の自由度を提供することができる。図 1 2 及び図 1 3 の図示の実施形態では、アーム支持体 1 0 5 は、4 つの自由度で構成され、それらは図 1 2 に矢印で示されている。第 1 の自由度は、z 方向における調整可能なアーム支持体 1 0 5 の調整(「Z リフト」)を可能にする。例えば、調整可能なアーム支持体 1 0 5 は、テーブル 1 0 1 を支持するカラム 1 0 2 に沿って、又はそれに対して上下に移動するように構成されたキャリッジ 1 0 9 を含み得る。第 2 の自由度は、調整可能なアーム支持体 1 0 5 が傾斜することを可能にする。例えば、調整可能なアーム支持体 1 0 5 は、回転接合部を含むことができ、これにより、調整可能なアーム支持体 1 0 5 を、トレンデレンブルグ体位のベッドと整合させることが可能となり得る。第 3 の自由度は、調整可能なアーム支持体 1 0 5 が「上方枢動する」ことを可能にでき、それを使用して、テーブル 1 0 1 の側部と調整可能なアーム支持体 1 0 5 との間の距離を調整することができる。第 4 の自由度は、調整可能なアーム支持体 1 0 5 がテーブルの長手方向の長さに沿って並進するのを可能にする。

【0047】

図 1 2 及び図 1 3 の外科用ロボットシステム 1 0 0 は、基部 1 0 3 に搭載されたカラム 1 0 2 によって支持されるテーブルを含み得る。基部 1 0 3 及びカラム 1 0 2 は、支持面に対してテーブル 1 0 1 を支持する。床軸 1 3 1 及び支持軸 1 3 3 は、図 1 3 に示される。

【0048】

調整可能なアーム支持体 1 0 5 は、カラム 1 0 2 に搭載することができる。他の実施形態では、アーム支持体 1 0 5 は、テーブル 1 0 1 又は基部 1 0 3 に搭載することができる

。調整可能なアーム支持体 105 は、キャリッジ 109、バー又はレールコネクタ 111、及びバー又はレール 107 を含み得る。一部の実施形態では、レール 107 に搭載された 1 つ又は 2 つ以上のロボットアームは、互いに対して並進及び移動することができる。

【0049】

キャリッジ 109 は、第 1 の接合部 113 によってカラム 102 に取り付けられてもよく、それにより、キャリッジ 109 がカラム 102 に対して移動することが可能になる（例えば、第 1 又は垂直軸 123 を上下するなど）。第 1 の接合部 113 は、調整可能なアーム支持体 105 に第 1 の自由度（「Z リフト」）を提供することができる。調整可能なアーム支持体 105 は、第 2 の自由度（傾斜）を調整可能なアーム支持体 105 に提供する第 2 の接合部 115 を含み得る。調整可能なアーム支持体 105 は、第 3 の自由度（「上方枢動」）を調整可能なアーム支持体 105 に提供することができる第 3 の接合部 117 を含み得る。第 3 の軸 127 を中心にしてレールコネクタ 111 を回転させるときにレール 107 の向きを維持するように第 3 の接合部 117 を機械的に拘束する、追加の接合部 119（図 13 に示す）を設けることができる。調整可能なアーム支持体 105 は、第 4 の自由度（並進）を第 4 の軸 129 に沿って調整可能なアーム支持体 105 に提供することができる第 4 の接合部 121 を含み得る。

【0050】

図 14 は、テーブル 101 の両側に搭載された 2 つの調整可能なアーム支持体 105 A、105 B を有する、外科用ロボットシステム 140 A の端面図を示している。第 1 のロボットアーム 142 A は、第 1 の調整可能なアーム支持体 105 B のバー又はレール 107 A に取り付けられる。第 1 のロボットアーム 142 A は、レール 107 A に取り付けられた基部 144 A を含む。第 1 のロボットアーム 142 A の遠位端は、1 つ又は 2 つ以上のロボット医療器具又はツールに結合することができる器具駆動機構 146 A を含む。同様に、第 2 のロボットアーム 142 B は、レール 107 B に取り付けられた基部 144 B を含む。第 2 のロボットアーム 142 B の遠位端は、器具駆動機構 146 B を含む。器具駆動機構 146 B は、1 つ又は 2 つ以上のロボット医療器具又はツールに結合するように構成され得る。

【0051】

一部の実施形態では、ロボットアーム 142 A、142 B のうちの 1 つ又は 2 つ以上は、7 以上の自由度を有するアームを含む。一部の実施形態では、ロボットアーム 142 A、142 B のうちの 1 つ又は 2 つ以上は、挿入軸（挿入を含む 1 つの自由度）、リスト（リストピッチ、ヨー及びロールを含む 3 つの自由度）、エルボ（エルボピッチを含む 1 つの自由度）、ショルダ（ショルダピッチ及びヨーを含む 2 つの自由度）、及び基部 144 A、144 B（並進を含む 1 つの自由度）を含む 8 自由度を含み得る。一部の実施形態では、挿入自由度は、ロボットアーム 142 A、142 B によって提供することができるが、他の実施形態では、器具自体が、器具ベースの挿入アーキテクチャを介して挿入を提供する。

【0052】

C. 器具ドライバ及びインターフェース。

システムのロボットアームのエンドエフェクタは、(i) 医療器具を作動させるための電気機械的手段を組み込む器具ドライバ（代替的には、「器具駆動機構」又は「器具デバイスマニピュレータ」と呼ばれる）と、(ii) モータなどの任意の電気機械的構成要素を欠いていてもよい、除去可能な又は取り外し可能な医療器具と、を含み得る。この二分は、医療処置において使用される医療器具を滅菌する必要性と、医療器具の機械組立が複雑でありかつ電子機器の感受性が高いことから高価な資本設備を適切に滅菌することができないこととによって引き起こされ得る。したがって、医療器具は、医師又は医師のスタッフによる個々の滅菌又は廃棄のために、器具ドライバ（したがってそのシステム）から取り外される、除去される、及び交換されるように設計することができる。対照的に、器具ドライバは交換又は滅菌される必要がなく、保護のために掛け布をすることができる。

【0053】

図 1 5 は、例示的な器具ドライバを示している。ロボットアームの遠位端に位置決めされた器具ドライバ 6 2 は、駆動シャフト 6 4 を介して医療器具に制御されたトルクを提供するために平行軸を伴って配置された 1 つ又は 2 つ以上の駆動ユニット 6 3 を含む。各駆動ユニット 6 3 は、器具と相互作用するための個々の駆動シャフト 6 4 と、モータシャフトの回転を所望のトルクに変換するためのギアヘッド 6 5 と、駆動トルクを生成するためのモータ 6 6 と、モータシャフトの速度を測定し、制御回路にフィードバックを提供するエンコーダ 6 7 と、制御信号を受信し、駆動ユニットを作動させるための制御回路 6 8 とを備える。各駆動ユニット 6 3 は、独立して制御され電動化され、器具ドライバ 6 2 は、複数（例えば図 1 5 に示すように 4 つ）の独立した駆動出力を医療器具に提供することができる。動作中、制御回路 6 8 は、制御信号を受信し、モータ 6 6 にモータ信号を送信し、エンコーダ 6 7 によって測定された結果として得られたモータ速度を所望の速度と比較し、モータ信号を変調して所望のトルクを生成する。

10

【 0 0 5 4 】

滅菌環境を必要とする処置のために、ロボットシステムは、器具ドライバと医療器具との間に位置する、滅菌ドレーブに接続された滅菌アダプタなどの駆動インターフェースを組み込んでよい。滅菌アダプタの主な目的は、器具ドライバの駆動シャフトから器具の駆動入力部に角度運動を伝達する一方で、駆動シャフトと駆動入力部との間の物理的分離、したがって滅菌性を維持することである。したがって、例示的な滅菌アダプタは、器具ドライバの駆動シャフトと嵌合されることが意図された一連の回転入力部及び出力部と、器具に対する駆動入力部とを含み得る。滅菌アダプタに接続される滅菌ドレーブは、透明又は半透明プラスチックなどの薄い可撓性材料で構成され、器具ドライバ、ロボットアーム、及び（カートベースのシステムにおける）カート又は（テーブルベースのシステムにおける）テーブルなどの資本設備を覆うように設計される。ドレーブの使用により、滅菌を必要としない領域（すなわち、非滅菌野）に依然として配置されている間に、資本設備を患者に近接して位置決めすることが可能となる。滅菌ドレーブの反対側では、医療器具は、滅菌を必要とする領域（すなわち、滅菌野）において患者とインターフェースしてもよい。

20

【 0 0 5 5 】

D . 医療器具。

図 1 6 は、ペアを成す器具ドライバを備えた例示的な医療器具を示している。ロボットシステムとともに使用するために設計された他の器具と同様に、医療器具 7 0 は、細長いシャフト 7 1（又は細長い本体）及び器具基部 7 2 を含む。医師による手動相互作用が意図されているその設計により「器具ハンドル」とも称される器具基部 7 2 は、一般に、ロボットアーム 7 6 の遠位端において器具ドライバ 7 5 上の駆動インターフェースを通して延在する駆動出力部 7 4 と嵌合するように設計された、回転可能な駆動入力部 7 3、例えば、レセプタクル、プーリー、又はスプールを含んでもよい。物理的に接続、ラッチ、及び/又は結合されると、器具基部 7 2 の嵌合された駆動入力部 7 3 は、器具ドライバ 7 5 における駆動出力部 7 4 と回転軸を共有して、駆動出力部 7 4 から駆動入力部 7 3 へのトルクの伝達を可能にし得る。一部の実施形態では、駆動出力部 7 4 は、駆動入力部 7 3 上のレセプタクルと嵌合するように設計されたスプラインを含んでもよい。

30

40

【 0 0 5 6 】

細長いシャフト 7 1 は、例えば、内視鏡におけるような解剖学的開口部若しくは管腔、又は腹腔鏡検査におけるような低侵襲性切開部のいずれかを通して送達されるように設計される。細長いシャフト 7 1 は、可撓性（例えば、内視鏡と同様の特性を有する）若しくは剛性（例えば、腹腔鏡と同様の特性を有する）のいずれかであってもよく、又は可撓性部分及び剛性部分の両方のカスタマイズされた組み合わせを含んでもよい。腹腔鏡検査のために設計される場合、剛性の細長いシャフトの遠位端は、少なくとも 1 つの自由度を有するクレビスから形成された接合されたリストから延在するエンドエフェクタ、及び駆動入力部が器具ドライバ 7 5 の駆動出力部 7 4 から受信したトルクに応答して回転する際に、腱からの力に基づいて作動され得る、例えば、把持具又ははさみなどの外科用ツール又

50

は医療器具に接続されることができる。内視鏡検査のために設計される場合、可撓性の細長いシャフトの遠位端は、器具ドライバ 7 5 の駆動出力部 7 4 から受信したトルクに基づいて関節運動及び屈曲され得る操縦可能又は制御可能な屈曲部を含んでもよい。

【 0 0 5 7 】

器具ドライバ 7 5 からのトルクは、細長いシャフト 7 1 に沿った腱を使用して細長いシャフト 7 1 の下流に伝達される。プルワイヤなどのこれらの個々の腱は、器具ハンドル 7 2 内の個々の駆動入力部 7 3 に個別に固定されてもよい。器具ハンドル 7 2 から、腱は、細長いシャフト 7 1 に沿って 1 つ又は 2 つ以上のプルルーメンの下方に向けられ、細長いシャフト 7 1 の遠位部分、又は細長いシャフトの遠位部分のリストに固定される。腹腔鏡、内視鏡、又はハイブリッド処置などの外科処置中、これらの腱は、リスト、把持具、又ははさみなどの遠位に装着されたエンドエフェクタに結合されてもよい。かかる構成の下で、駆動入力部 7 3 に及ぼされるトルクは、腱に張力を伝達し、それによってエンドエフェクタを何らかの方法で作動させる。一部の実施形態では、外科処置中に、腱は、関節を軸の周りで回転させることができ、それによってエンドエフェクタを一方向又は別の方向に移動させる。代替的に、腱は、細長いシャフト 7 1 の遠位端で把持具の 1 つ又は 2 つ以上のジョーに接続されてもよく、腱からの張力によって把持具は閉鎖される。

10

【 0 0 5 8 】

内視鏡検査では、腱は、接着剤、制御リング、又は他の機械的固定を介して、細長いシャフト 7 1 に沿って（例えば、遠位端に）位置決めされている屈曲部又は関節運動部に結合されてもよい。屈曲部の遠位端に固定的に取り付けられる場合、駆動入力部 7 3 に及ぼされるトルクは、腱の下流に伝達され、より軟質の屈曲部（関節運動可能部又は関節運動可能領域と呼ばれることがある）を屈曲又は関節運動させる。非屈曲部分に沿って、個々の腱を内視鏡シャフトの壁に沿って（又は内側に）向ける個々のプルルーメンを螺旋状又は渦巻状にして、プルワイヤにおける張力からもたらされる半径方向の力の釣り合いをとることが有利であり得る。これらの間の螺旋及び / 又は間隔の角度は、特定の目的のために変更又は設計することができ、よりきつい螺旋は負荷力の下でより少ないシャフト圧縮を示し、一方、より少ない量の螺旋は負荷力の下でより大きなシャフト圧縮をもたらすが、屈曲を制限する。スペクトルのもう一方の端部では、プルルーメンは、細長いシャフト 7 1 の長手方向軸に平行に方向付けられて、所望の屈曲部又は関節運動可能部における制御された関節運動を可能にしてもよい。

20

30

【 0 0 5 9 】

内視鏡検査では、細長いシャフト 7 1 は、ロボット処置を支援する複数の構成要素を收容する。シャフト 7 1 は、シャフト 7 1 の遠位端における手術領域に対して外科用ツール（又は医療器具）を展開する、灌注する、及び / 又は吸引するための作業チャネルを含んでもよい。シャフト 7 1 はまた、光学カメラを含んでもよい遠位先端部の光学アセンブリとの間で信号を送受信するために、ワイヤ及び / 又は光ファイバを收容してもよい。シャフト 7 1 はまた、発光ダイオードなどの近位に位置する光源からシャフト 7 1 の遠位端に光を搬送するための光ファイバを收容してもよい。

【 0 0 6 0 】

器具 7 0 の遠位端では、遠位先端部は、診断及び / 又は治療、灌注、及び吸引のためにツールを手術部位に送達するための作業チャネルの開口部を含んでもよい。遠位先端部はまた、内部解剖学的空間の画像を捕捉するために、ファイバスコープ又はデジタルカメラなどのカメラのためのポートを含んでもよい。関連して、遠位先端部はまた、カメラを使用する場合に解剖学的空間を照明するための光源用のポートを含んでもよい。

40

【 0 0 6 1 】

図 1 6 の例では、駆動シャフト軸、すなわち駆動入力軸は、細長いシャフト 7 1 の軸に直交する。しかしながら、この構成は、細長いシャフト 7 1 のロール能力を複雑にする。駆動入力部 7 3 を静止させながら、細長いシャフト 7 1 をその軸に沿ってロールさせることの結果として、腱が駆動入力部 7 3 から延出して細長いシャフト 7 1 内のプルルーメンに入るときに、腱の望ましくない絡まりをもたらす。かかる腱の結果としての絡まりは、

50

内視鏡処置中の可撓性の細長いシャフト 7 1 の移動を予測することを意図した制御アルゴリズムを妨害する可能性がある。

【 0 0 6 2 】

図 1 7 は、駆動ユニットの軸が器具の細長いシャフトの軸に平行である、器具ドライバ及び器具の代替的な設計を示している。示されるように、円形の器具ドライバ 8 0 は、ロボットアーム 8 2 の端部において平行に整合した駆動出力部 8 1 を有する 4 つの駆動ユニットを含む。駆動ユニット及びそれらのそれぞれの駆動出力部 8 1 は、アセンブリ 8 3 内の駆動ユニットのうちの 1 つによって駆動される器具ドライバ 8 0 の回転アセンブリ 8 3 内に収容される。回転駆動ユニットによって提供されるトルクに応答して、回転アセンブリ 8 3 は、回転アセンブリ 8 3 を器具ドライバ 8 0 の非回転部分 8 4 に接続する円形ベアリングに沿って回転する。電力及び制御信号は、ブラシ付きスリップリング接続（図示せず）による回転を通して維持され得る電気接点を介して、器具ドライバ 8 0 の非回転部分 8 4 から回転アセンブリ 8 3 に伝達されてもよい。他の実施形態では、回転アセンブリ 8 3 は、非回転可能部分 8 4 に統合され、したがって他の駆動ユニットと平行ではない別個の駆動ユニットに回答してもよい。回転機構 8 3 は、器具ドライバ 8 0 が、駆動ユニット及びそれらのそれぞれの駆動出力部 8 1 を、器具ドライバ軸 8 5 周りの単一ユニットとして回転させることを可能にする。

10

【 0 0 6 3 】

先に開示した実施形態と同様に、器具 8 6 は、細長いシャフト部分 8 8 と、器具ドライバ 8 0 内の駆動出力部 8 1 を受け入れるように構成された複数の駆動入力部 8 9（レセプタクル、プーリー、及びスプールなど）を含む器具基部 8 7（説明目的のために透明な外部スキンで示される）とを含んでもよい。先の開示された実施形態とは異なり、器具シャフト 8 8 は、器具基部 8 7 の中心から延在し、軸は駆動入力部 8 9 の軸に実質的に平行であり、図 1 6 の設計にあるように直交してはいない。

20

【 0 0 6 4 】

器具ドライバ 8 0 の回転アセンブリ 8 3 に結合されると、器具基部 8 7 及び器具シャフト 8 8 を含む医療器具 8 6 は、器具ドライバ軸 8 5 を中心にして回転アセンブリ 8 3 と一緒に回転する。器具シャフト 8 8 は器具基部 8 7 の中心に位置決めされているため、器具シャフト 8 8 は、取り付けられたときに器具ドライバ軸 8 5 と同軸である。したがって、回転アセンブリ 8 3 の回転により、器具シャフト 8 8 は、それ自体の長手方向軸を中心に回転する。更に、器具基部 8 7 が器具シャフト 8 8 とともに回転すると、器具基部 8 7 内の駆動入力部 8 9 に接続されたいずれの腱も、回転中に絡まらない。したがって、駆動出力部 8 1、駆動入力部 8 9、及び器具シャフト 8 8 の軸の平行性は、どの制御腱も絡めることなくシャフトの回転を可能にする。

30

【 0 0 6 5 】

図 1 8 は、一部の実施形態による、器具ベースの挿入アーキテクチャを有する器具 1 5 0 を示している。器具 1 5 0 は、上述した器具ドライバのうちのいずれかに結合され得る。器具 1 5 0 は、細長いシャフト 1 5 2 と、シャフト 1 5 2 に接続されたエンドエフェクタ 1 6 2 と、シャフト 1 5 2 に結合されたハンドル 1 7 0 とを含む。細長いシャフト 1 5 2 は、近位部分 1 5 4 及び遠位部分 1 5 6 を有する管状部材を含む。細長いシャフト 1 5 2 は、その外側表面に沿った 1 つ又は 2 つ以上のチャネル又は溝 1 5 8 を含む。溝 1 5 8 は、1 つ又は 2 つ以上のワイヤ又はケーブル 1 8 0 を内部を通して受け入れるように構成されている。したがって、1 つ又は 2 つ以上のケーブル 1 8 0 は、細長いシャフト 1 5 2 の外側表面に沿って延在する。他の実施形態では、ケーブル 1 8 0 は、細長いシャフト 1 5 2 を通って延在することもできる。ケーブル 1 8 0 のうちの 1 つ又は 2 つ以上の操作（例えば、器具ドライバを介して）により、エンドエフェクタ 1 6 2 の作動がもたらされる。

40

【 0 0 6 6 】

器具基部とも称され得る器具ハンドル 1 7 0 は、一般に、器具ドライバの取り付け面上で 1 つ又は 2 つ以上のトルクカブラと往復嵌合するように設計された 1 つ又は 2 つ以上の機械的入力部 1 7 4、例えば、レセプタクル、プーリー又はスプールを有する取り付けイ

50

ンターフェース 172 を含み得る。

【0067】

一部の実施形態では、器具 150 は、細長いシャフト 152 がハンドル 170 に対して並進することを可能にする一連のプーリー又はケーブルを含む。換言すれば、器具 150 自体は器具の挿入に適応する器具ベースの挿入アーキテクチャを含み、それによって器具 150 の挿入を提供するためのロボットアームへの依存を最小化する。他の実施形態では、ロボットアームは、器具の挿入に大きく関与することができる。

【0068】

E. コントローラ。

本明細書に記載のロボットシステムのうちのいずれかは、ロボットアームに取り付けられた器具を操作するための入力デバイス又はコントローラを含むことができる。一部の実施形態では、コントローラは、器具と結合（例えば、通信的に、電子的に、電気的に、無線的に、及び/又は機械的に）することができ、それによりコントローラの操作は、例えば、マスタスレーブ制御を介して、器具の対応する操作を引き起こす。

【0069】

図 19 は、コントローラ 182 の一実施形態の斜視図である。本実施形態では、コントローラ 182 は、インピーダンス制御及びアドミタンス制御の両方を有することができるハイブリッドコントローラを含む。他の実施形態では、コントローラ 182 は、インピーダンス又は受動的制御だけを利用することができる。他の実施形態では、コントローラ 182 は、アドミタンス制御だけを利用することができる。ハイブリッドコントローラであることにより、コントローラ 182 は、有利には、使用中、より低い知覚慣性を有することができる。

【0070】

図示の実施形態では、コントローラ 182 は、2 つの医療器具の操作を可能にするように構成され、2 つのハンドル 184 を含む。ハンドル 184 の各々は、ジンバル 186 に接続されている。各ジンバル 186 は、位置決めプラットフォーム 188 に接続されている。

【0071】

図 19 に示すように、各位置決めプラットフォーム 188 は、プリズム状接合部 196 によってコラム 194 に結合された選択的コンプライアンスアセンブリロボットアーム (selective compliance assembly robot arm、SCARA) 198 を含む。プリズム状接合部 196 は、（例えば、レール 197 に沿って）コラム 194 に沿って並進して、ハンドル 184 の各々が z 方向に並進され、第 1 の自由度を提供するように構成されている。SCARA 198 は、x - y 平面におけるハンドル 184 の運動を可能にし、2 つの追加的な自由度を提供するように構成されている。

【0072】

一部の実施形態では、1 つ又は 2 つ以上のロードセルがコントローラ内に位置決めされる。例えば、一部の実施形態では、ロードセル（図示せず）は、ジンバル 186 の各々の本体内に位置決めされる。ロードセルを設けることによって、コントローラ 182 の一部分は、アドミタンス制御下で動作することができ、それによって、使用中にコントローラの知覚慣性を有利に低減する。一部の実施形態では、位置決めプラットフォーム 188 はアドミタンス制御用に構成され、ジンバル 186 はインピーダンス制御用に構成されている。他の実施形態では、ジンバル 186 はアドミタンス制御用に構成され、位置決めプラットフォーム 188 はインピーダンス制御用に構成されている。したがって、一部の実施形態では、位置決めプラットフォーム 188 の並進又は位置自由度は、アドミタンス制御に依存することができ、一方、ジンバル 186 の回転自由度はインピーダンス制御に依存する。

【0073】

F. ナビゲーション及び制御。

従来の内視鏡検査は、オペレータである医師に腔内誘導を提供するために、蛍光透視法

10

20

30

40

50

(例えば、Cアームを通して送達され得るような)、及び他の形態の放射線ベースの撮像モダリティの使用を伴うことがある。対照的に、本開示によって企図されるロボットシステムは、放射線への医師の曝露を低減し、手術室内の機器の量を低減するために、非放射線ベースのナビゲーション及び位置特定手段を提供することができる。本明細書で使用する時、「位置特定」という用語は、基準座標系内の対象物の位置を決定及び/又は監視することを指すことがある。術前マッピング、コンピュータビジョン、リアルタイムEM追跡、及びロボットコマンドデータなどの技術は、放射線を含まない動作環境を達成するために個別に又は組み合わせて使用されてもよい。放射線ベースの撮像モダリティが依然として使用されるその他の場合、術前マッピング、コンピュータビジョン、リアルタイムEM追跡、及びロボットコマンドデータは、放射線ベースの撮像モダリティによってのみ取得される情報を改善するために、個別に又は組み合わせて使用されてもよい。

10

【0074】

図20は、例示的な実施形態による、器具の場所など、ロボットシステムの1つ又は2つ以上の要素の場所を推定する位置特定システム90を示すブロック図である。位置特定システム90は、1つ又は2つ以上の命令を実行するように構成されている1つ又は2つ以上のコンピュータデバイスのセットであってもよい。コンピュータデバイスは、上で考察された1つ又は2つ以上の構成要素内のプロセッサ(又は複数のプロセッサ)及びコンピュータ可読メモリによって具現化されてもよい。例として、限定するものではないが、コンピュータデバイスは、図1に示されるタワー30内にあってもよく、図1~図4に示されるカート11内にあってもよく、図5~図14に示されるベッド内にあってもよい。

20

【0075】

図20に示すように、位置特定システム90は、入力データ91~94を処理して医療器具の遠位先端部の場所データ96を生成する位置特定モジュール95を含んでもよい。場所データ96は、基準系に対する器具の遠位端の場所及び/又は向きを表すデータ又は論理であってもよい。基準系は、患者の解剖学的構造、又はEM場発生器(EM場発生器についての以下の説明を参照)などの既知の対象物に対する基準系であり得る。

【0076】

ここで、様々な入力データ91~94についてより詳細に説明する。術前マッピングは、位置特定モジュール95によって使用されて、モデルデータ91を生成することができる。術前マッピングは、低用量CTスキャンの収集を使用して達成することができる。術前CTスキャンは、例えば、患者の内部解剖学的構造の切欠き図の「スライス」として可視化される三次元画像へと再構成される。全体として分析される場合、患者の肺網などの患者の解剖学的構造の解剖学的空腔、空間、及び構造のための画像ベースのモデルが生成され得る。中心線形状(center-line geometry)などの手法をCT画像から決定及び近似して、モデルデータ91と称される(術前CTスキャンのみを使用して生成された場合は「術前モデルデータ」とも称される)患者の解剖学的構造の三次元ボリュームを作成することができる。中心線形状の使用は、米国特許出願第14/523,760号で考察されており、その内容はその全体が本明細書に組み込まれる。ネットワーク位相モデルもまた、CT画像から導出されてもよく、気管支鏡検査に特に適している。

30

【0077】

一部の実施形態では、器具は、視覚データ(又は画像データ)92を位置特定モジュール95に提供するためにカメラを備えてもよい。位置特定モジュール95は、視覚データ92を処理して、1つ又は2つ以上の視覚ベースの(又は画像ベースの)場所追跡モジュール又は機能を有効にしてもよい。例えば、術前モデルデータ91は、医療器具(例えば、内視鏡又は内視鏡の作業チャネルを通して前進する器具)のコンピュータビジョンベースの追跡を可能にするために、視覚データ92とともに使用されてもよい。例えば、術前モデルデータ91を使用して、ロボットシステムは、内視鏡の予想される移動経路に基づいて、モデルから、予測される内視鏡画像のライブラリを生成することができ、各画像はモデル内の場所にリンクされる。手術中に、このライブラリは、カメラ(例えば、内視鏡の遠位端のカメラ)で捕捉されたリアルタイム画像を画像ライブラリ内のものと比較して

40

50

、位置特定を支援するために、ロボットシステムによって参照されることができる。

【 0 0 7 8 】

他のコンピュータビジョンベースの追跡技術は、特徴追跡を使用して、カメラ、したがって内視鏡の動きを判定する。位置特定モジュール 9 5 の一部の機構は、解剖学的管腔に対応する術前モデルデータ 9 1 内の円形幾何学形状を特定し、それらの幾何学的形状の変化を追跡して、どの解剖学的管腔が選択されたか、並びにカメラの相対的な回転及び / 又は並進運動を決定することができる。位相マップの使用は、視覚ベースのアルゴリズム又は技術を更に向上させることがある。

【 0 0 7 9 】

光学フロー、別のコンピュータビジョンベースの技術は、カメラの移動を推測するために、視覚データ 9 2 内のビデオシーケンス内の画像ピクセルの変位及び並進を分析してもよい。光学フロー技術の例としては、動作検出、物体セグメンテーション計算、輝度、動き補償符号化、立体視差測定などを挙げることができる。複数の反復にわたり複数のフレームを比較することにより、カメラ（及びしたがって内視鏡）の動き及び場所を判定することができる。

【 0 0 8 0 】

位置特定モジュール 9 5 は、リアルタイム E M 追跡及び E M データ 9 3 を使用して、術前モデルによって表される患者の解剖学的構造に位置合わせされ得るグローバル座標系内に、内視鏡のリアルタイムの場所を生成することができる。E M 追跡では、医療器具（例えば、内視鏡器具）内の 1 つ又は 2 つ以上の場所及び向きに埋め込まれた 1 つ又は 2 つ以上のセンサコイルを含む E M センサ（又はトラッカー）は、既知の場所に位置決めされた 1 つ又は 2 つ以上の静的 E M 場発生器によって生成される E M 場の変動を測定する。E M センサによって検出された場所情報は、E M データ 9 3 として記憶される。E M 場発生器（又は送信機）は、埋め込まれたセンサが検出し得る低強度磁場を生成するために、患者に近接して配置することができる。磁場は E M センサのセンサコイル内に小さい電流を誘発し、E M センサと E M 場発生器との間の距離及び角度を判定するためにこの電流が分析され得る。これらの距離及び向きは、患者の解剖学的構造の術前モデル内の位置と座標系内の単一の場所を整合させる幾何学的変換を判定するために、患者の解剖学的構造（例えば、術前モデル）に術中「位置合わせ」され得る。一旦位置合わせすると、医療器具の 1 つ又は 2 つ以上の位置（例えば、内視鏡の遠位先端部）に埋め込まれた E M トラッカは、患者の解剖学的構造を通る医療器具の進行のリアルタイム表示を提供することができる。

【 0 0 8 1 】

ロボットコマンド及び運動学データ 9 4 はまた、ロボットシステムのための場所データ 9 6 を提供するために、位置特定モジュール 9 5 によって使用されてもよい。関節運動コマンドから生じるデバイスピッチ及びヨーは、術前較正中に判定され得る。術中、これらの較正測定値は、既知の挿入深度情報と組み合わせて使用されて、器具の位置を推定することができる。代替的に、これらの計算は、E M、視覚、及び / 又は位相モデリングと組み合わせて分析されて、ネットワーク内の医療器具の位置を推定することができる。

【 0 0 8 2 】

図 2 0 が示すように、複数の他の入力データは、位置特定モジュール 9 5 によって使用することができる。例えば、図 2 0 には示していないが、形状検知ファイバを利用する器具は、位置特定モジュール 9 5 が器具の場所及び形状を判定するために使用し得る形状データを提供することができる。

【 0 0 8 3 】

位置特定モジュール 9 5 は、入力データ 9 1 ~ 9 4 を組み合わせて使用することができる。一部の場合では、かかる組み合わせは、位置特定モジュール 9 5 が入力データ 9 1 ~ 9 4 の各々から判定された場所に信頼重み（confidence weight）を割り当てる確率的アプローチを使用し得る。したがって、E M データが信頼でき得ない場合（E M 干渉が存在する場合など）、E M データ 9 3 によって決定された場所の信頼性を低下させる可能性があり、位置特定モジュール 9 5 は、視覚データ 9 2 並びに / 又はロボットコマンド及び運

10

20

30

40

50

動学データ 94 により重く依存し得る。

【 0 0 8 4 】

上で考察されるように、本明細書で考察されるロボットシステムは、上述した技術のうちの 1 つ又は 2 つ以上の組み合わせを組み込むように設計することができる。タワー、ベッド、及び / 又はカートに基づいているロボットシステムのコンピュータベースの制御システムは、例えば、永続的な磁気記憶ドライブ、ソリッドステートドライブなどの非一時的コンピュータ可読記憶媒体内に、コンピュータプログラム命令を記憶してもよく、コンピュータプログラム命令は、実行されると、システムに、センサデータ及びユーザコマンドを受信及び分析させ、システム全体の制御信号を生成させ、グローバル座標系内の器具の位置、解剖学的マップなどのナビゲーション及び位置特定データを表示させる。

10

【 0 0 8 5 】

2 . ロボット制御可能な電磁場発生器

ロボット医療システム（例えば、上記のもの及び他のもの）とともに使用するように構成され得るロボット制御可能な E M 場発生器の実施形態が、本明細書中に記載される。ロボット制御可能な E M 場発生器は、ロボット医療システムのロボットアームに結合する（又は別様に取り付けられる若しくは統合される）ように構成され得る。かかるロボット制御可能な E M 場発生器は、通常、E M 場の座標フレームをロボットシステムの座標フレーム又はグローバル座標フレームに関連付けるためにより複雑な位置合わせステップを必要とし、概して、複雑な位置合わせステップをやり直す必要なしに処置中に再位置決めすることができないロボット医療システムとともに一般に使用される他の E M 場発生器に勝る利点を提供することができる。

20

【 0 0 8 6 】

E M 場発生器をロボットアームに結合することによって、ロボットアームの運動学を使用して、E M 場の座標フレームをロボット座標フレーム又はグローバル座標フレームに位置合わせすることができる。ロボットアームの運動学に基づくかかる位置合わせは、自動的に、又はオペレータが別個の位置合わせステップ（図 2 2 B 及び図 2 2 C を参照して以下に説明されるそれらの位置合わせステップなど）を行うことを要求することなく、行うことができる。これは、ロボット医療システムとともに使用される他のタイプの E M 場発生器によく見られる、より複雑な又はユーザが関与する位置合わせの必要性を排除することができる。更に、E M 場発生器がロボットアームに結合された状態で、E M 場発生器は、ロボット制御可能又は位置決め可能になる。ロボットアームは、ロボット医療処置中に E M 場発生器を種々の位置に物理的に移動させるために、並進、回転、又は両方の組み合わせを行うように命令され得る。

30

【 0 0 8 7 】

以下でより詳細に記載されるように、かかるロボット制御可能な E M 場発生器は、複数の利点を提供し得、多岐にわたる用途において有用である。例えば、かかるロボット制御可能な E M 場発生器を使用することで、とりわけ、E M 場の座標フレームをロボット座標フレーム又はグローバル座標フレームと位置合わせするための別個の位置合わせステップを実行する必要性を排除し、ロボットアームを用いて E M 場発生器を移動させる能力を通じてより広い視野を提供し、より小さい E M 場発生器（例えば、コンパクトな電磁場発生器）の使用を可能にし、ロボット医療システムの設定を単純化し、E M センサの検出位置の精度を高めることができる。かかるロボット制御可能な E M 場発生器の用途は、例えば、自動ツール追跡、自動又は拡張された電磁場発生器の設定、E M 集束、解剖学的マッピング、及びその他を含み得る。

40

【 0 0 8 8 】

ロボット制御可能な電磁場発生器のこれら及び他の特徴は、概してロボット医療システムにおける E M センサ及び E M 場発生器の使用の概要を最初に提供した後に、以下でより詳細に説明される。

【 0 0 8 9 】

A . E M センサ及び E M 場発生器の使用の概要

50

ロボット医療システムは、種々のツール及び器具の追跡及びナビゲーションを容易にするために種々のタイプの位置センサを使用することができる。上述したように、ロボット医療システムで使用され得る１つのタイプの位置センサは、ＥＭ位置センサ（本明細書ではＥＭセンサ、ビーコン、又はトラッカとも称される）である。１つ又は２つ以上のＥＭセンサが、例えば、医療処置中に使用されるツール又は器具の一部に設けられ得る。ＥＭセンサの位置が決定され、対応するツール又は器具の位置を追跡するために使用され得る。１つ又は２つ以上のＥＭセンサはまた、例えば、処置中に患者の動き（呼吸又は他のタイプの移動による動きなど）を追跡するために、患者上に提供され得る。図２０に関して上述したように、位置特定システム９０は、ナビゲーション及びガイダンス情報をシステムのオペレータに提供するために、種々の他のタイプのデータとともに、ＥＭデータ９３を使用し得る。

10

【００９０】

ＥＭセンサは、低強度磁場を生成するように構成された１つ又は２つ以上のＥＭ場発生器とともに使用される。ＥＭセンサが、ＥＭ場発生器によって生成される磁場（ＥＭ場発生器の作業体積とも称される）内に位置決めされると、ＥＭ場発生器に対するＥＭセンサの位置が決定され得る。例えば、図２０を参照して上述したように、ＥＭセンサは、ＥＭ場発生器によって生成された磁場の変動を測定する１つ又は２つ以上のセンサコイルを備えてもよい。磁場は、例えば、ＥＭセンサとＥＭ場発生器との間の距離及び角度を決定するために分析され得る、ＥＭセンサのセンサコイル内の小電流を誘発することができる。

【００９１】

20

一部の実施形態では、ＥＭ場発生器に対するＥＭセンサの位置（例えば、３次元位置）を決定することができる。一部の実施形態では、ＥＭセンサの向き（例えば、ピッチ、ヨー、及び／又はロール）も決定され得る。５自由度（degree of freedom、D o F）ＥＭセンサにより、ＥＭセンサの三次元位置、並びにＥＭセンサのピッチ及びヨーを提供することができる。６D o FのＥＭセンサにより、ＥＭセンサの三次元位置、並びにＥＭセンサのピッチ、ヨー、及びロールを提供することができる。

【００９２】

図２１は、ＥＭ場発生器２０２及びＥＭセンサ２０４の一例を示している。ＥＭ場発生器２０２は、磁場を発生させるように構成される。図示の実施形態では、ＥＭ場発生器２０２の磁場は、作業体積２０６を有する。ＥＭセンサ２０４が、ＥＭ場発生器２０２によって生成される磁場の作業体積２０６内に位置決めされた場合、ＥＭセンサ２０４の位置（又は位置及び向き）は、ＥＭ場発生器２０２と関連付けられたＥＭ座標フレーム２０８に対して決定され得る。例えば、ＥＭセンサ２０４とＥＭ座標フレーム２０８の原点との間の距離及び角度が決定されて、作業体積２０６内のＥＭセンサ２０４の位置（例えば、 x 、 y 、及び z 位置）及び／又は向き（例えば、ピッチ、ヨー、及び／又はロール）が決定されてもよい。

30

【００９３】

図示の実施形態では、ＥＭ場発生器２０２の作業体積２０６は、ＥＭ場発生器２０２の１つの側面から突出する長方形プリズムの形状を有するものとして表される。しかしながら、これは、１つのタイプの作業体積２０６を表しているにすぎず、ＥＭ場発生器２０２に対して種々のサイズ、形状、及び位置の作業体積２０６を生成するＥＭ場発生器２０２が提供され得る。

40

【００９４】

図２２Ａは、図２１のＥＭ場発生器２０２を使用する例示的なロボット医療システム２００を示している。ロボット医療システム２００は、図１～図２０を参照して上述したロボット医療システムと同様であってもよい。図示の実施形態では、ロボット医療システム２００は、２つのロボットアーム２１２を含むカート２１０を備える。２つのロボットアーム２１２が図示されているが、他の数のロボットアーム２１２も可能である。例えば、図２（上述）は、３つのロボットアーム１２を含む例示的なカート１１を示している。加えて、一部の実施形態では、ロボットアーム２１２は、カート２１０に取り付けられる必

50

要はない。一部の実施形態では、ロボットアームは、例えば、図 5 ~ 図 10 及び図 14 (前述) に示すように、ベッド又は患者プラットフォーム 215 に結合され得る。一部の実施形態では、ロボット医療システム 200 は、カート 210、患者プラットフォーム、及び / 又はシステムの他の構成要素に結合されるロボットアーム 212 を備えてもよい。

【 0095 】

ロボットアーム 212 は、ロボット座標フレーム 216 に関連付けることができる。ロボットアーム 212 の既知の運動学に起因して、ロボットアーム 212 の位置 (例えば、ロボットアーム 212 の遠位端の位置及び / 又はそれに取り付けられた器具 214 の位置) は、ロボット座標フレーム 216 を参照して決定され得る。例えば、ロボットアーム 212 を構成する種々のリンクの長さが既知であり、ロボットアーム 212 のリンク間の角度を決定することができるので、ロボットアームの位置は、ロボット座標フレーム 216 内で運動学的に定義される。

10

【 0096 】

一部の実施形態では、患者プラットフォーム 215 及び患者に対するカート 210 の位置及び向きは、ロボット座標フレーム 216 が、患者又は患者の解剖学的構造の一部に位置合わせされ得るグローバル座標フレームと見なされ得るように、決定、設定、又は制御され得る。例えば、一部の実施形態では、ロボット座標フレーム 216 内の上、下、右、左などは、患者、患者プラットフォーム 215、及び / 又は他の構成要素を含むグローバル座標フレーム内の上、下、右、左などに対応することができる。

【 0097 】

20

図 22A に示すように、ツール又は器具 214 (例えば、腹腔鏡又は内視鏡器具) は、ロボットアーム 212 のうちの 1 つに結合され得る。器具 214 は、医療処置を行うために患者に挿入することができる。単一の器具 214 のみが図示されているが、他の実施形態では、他の数の器具 214 (例えば、2 つ以上の器具) を使用することができることを理解されたい。1 つ又は 2 つ以上のロボットアーム 212 は、器具 214 を位置決めし、制御するために使用可能である。オペレータ (図示せず) は、コントローラを使用して、ロボットアーム 212 及び器具 214 を制御することができる。

【 0098 】

図示の実施形態では、器具 214 は、その遠位端に位置決めされた EM センサ 204 を含む。更に、図示の実施形態は、患者の胸部に取り付けられた第 2 の EM センサ 204 を含み、これは、患者の呼吸によって引き起こされる運動などの患者の動き又は運動を追跡するために使用され得る。

30

【 0099 】

図 22A は、一部の実施形態では、電磁場発生器 202 の作業体積 206 が、医療処置が行われる患者の解剖学的構造の一部と重複するように、EM 場発生器 202 を患者に対して位置決めし得ることを示している。本明細書で使用される場合、医療処置が行われる患者の解剖学的構造の一部は、医療部位と称されることがあり、この部位は、生検、内視鏡検査、手術、治療などを含む任意の医療処置を行うことができる部位を含み得る。一部の実施形態では、EM 場発生器 202 は、作業体積 206 が患者に対して位置決めされるように、スタンド又は他の支持構造 (図示せず) によって支持され得る。他の実施形態では、EM 場発生器 202 は、患者プラットフォーム 215 によって支持されるか、若しくはそれに取り付けられるか、又は動作環境内の別の構成要素 (図 1、図 3、及び図 4 を参照して上記で説明されるカート 30 など) に統合されるか、若しくはそれによって支持され得る。

40

【 0100 】

図 21 を参照して上述したように、EM センサ 204 が EM 場発生器 202 の作業体積 206 内に位置決めされると、EM 座標フレーム 208 内の EM センサ 204 の位置を決定することができる。しかしながら、EM 座標フレーム 208 内の EM センサ 204 の位置を決定することは、EM 座標フレーム 208 がロボット座標フレーム 216 又はグローバル座標フレーム (上述したように、ロボット座標フレーム 216 であり得る) に位置合

50

わせされていない限り、特に有用ではない場合がある。したがって、E M座標フレーム 2 0 8をロボット座標フレーム 2 1 6に関連付ける位置合わせステップがしばしば必要とされる。

【 0 1 0 1 】

図 2 2 A に図示されるロボット医療システム 2 0 0 などの一部のロボット医療システムでは、E M座標フレーム 2 0 8をロボット座標フレーム 2 1 6に位置合わせすることは、オペレータが位置合わせを達成するために一定のステップを行うことを必要とし得る。位置合わせプロセスは、処置にステップを追加する可能性があり、処置時間を増加させる可能性がある。図 2 2 B 及び図 2 2 C は、ロボット医療システム 2 0 0 に関連付けられたロボット座標フレーム 2 1 6 を、E M場発生器 2 0 2 に関連付けられた E M座標系 2 0 8 と位置合わせするために使用され得る例示的な位置合わせステップ又は手順を示している。以下でより詳細に説明するように、これらのタイプの位置合わせステップ又は手順を実行する必要性は、例えば図 2 3 に示すように、そのロボットアームに取り付けられた E M場発生器を有するロボット医療システムを提供することによって排除又は低減することができる。

【 0 1 0 2 】

図 2 2 B は、ロボット医療システム 2 0 0 に関連付けられたロボット座標フレーム 2 1 6 を、E M場発生器 2 0 2 に関連付けられた E M座標系 2 0 8 と位置合わせするために使用され得る例示的な位置合わせ手順を示している。位置合わせを達成するために、複数の点が、ロボット座標フレーム 2 1 6 及び E M座標フレーム 2 0 8 の両方内で特定される。複数の点がロボット座標フレーム 2 1 6 及び E M座標フレーム 2 0 8 の各々内で特定されると、位置合わせアルゴリズムは、2 つの座標フレーム間の変換を決定することができる。図 2 2 B の位置合わせ手順は、ロボットシステムのロボットアーム 2 1 2 のうちの 1 つ、E M場発生器 2 0 2、E Mプローブ 2 0 3、及び位置合わせ固定具 2 0 5 を使用する。図示の実施形態では、位置合わせ固定具 2 0 5 は、立方体の頂点に位置する基準又はマーカを有する立方体を備える。したがって、図示の実施形態では、位置合わせ固定具 2 0 5 は、8 つの基準を含む。位置合わせ固定具 2 0 5 のための他の数の基準及び他の形状も使用され得る。位置合わせ固定具 2 0 5 が静止場所に位置決めされた状態で、オペレータは、位置合わせ固定具 2 0 5 の基準のそれぞれに接触するようにロボットアーム 2 1 2 に命令することができる。したがって、ロボット座標フレーム 2 1 6 内の各基準の位置を決定することができる。次いで、オペレータは、E Mプローブ 2 0 3 で基準のそれぞれに触れることができる。E Mプローブ 2 0 3 は、電磁場発生器 2 0 2 に対して明確に定義された先端位置を有する手持ち式 E Mセンサ 2 0 4 を含み得る。E Mプローブ 2 0 3 で基準の各々に接触することによって、E M座標フレーム 2 0 8 内の各基準の位置を決定することができる。ロボット座標フレーム 2 1 6 及び E M座標フレーム 2 0 8 のそれぞれの中で現在知られている同じ点（位置合わせ固定具 2 0 5 の基準）を用いて、位置合わせアルゴリズムは、2 つの座標フレームの間の変換を決定することができる。

【 0 1 0 3 】

図 2 2 C は、ロボット医療システム 2 0 0 に関連付けられたロボット座標フレーム 2 1 6 を E M場発生器 2 0 2 に関連付けられた E M座標系 2 0 8 と位置合わせするために使用され得る別の例示的な位置合わせ手順を示している。この位置合わせ手順は、ロボットシステムのロボットアーム 2 1 2 のうちの 1 つ、E M場発生器 2 0 2、及びロボットアーム 2 1 2 のエンドエフェクタに取り付けられた E Mセンサ 2 0 4 を使用する。ロボットアーム 2 1 2 のエンドエフェクタに取り付けられた E Mセンサ 2 0 4 を用いて、オペレータは、次いで、ロボットアーム 2 1 2 に、位置合わせ軌道 2 0 7 を通って移動するか、又はそれをトレースするように命令することができる。図示した実施形態では、位置合わせ軌道 2 0 7 は立方体の形状を含むが、異なる形状を含む他の位置合わせ軌道を使用することができる。位置合わせ軌道 2 0 7 に沿った種々の点（例えば、立方体形状の頂点）において、ロボット座標フレーム 2 1 6 内のエンドエフェクタの位置及び E M座標フレーム 2 0 8 内の E Mセンサ 2 0 4 の位置を記録することができる。十分な複数の点がロボット座標フ

10

20

30

40

50

フレーム 216 及び E M 座標フレーム 208 の両方で特定されると、位置合わせアルゴリズムは、2つの座標フレーム間の変換を決定することができる。

【0104】

図 22A に図示されるシステム 200 などのロボットシステムでは、図 22B 及び図 22C を参照して上記で説明した処置のいずれかなどの位置合わせ処置が、E M 座標フレーム 208 及びロボット座標フレーム 216 を位置合わせする処置を開始することに先立って行われてもよい。

【0105】

これらのタイプの位置合わせには種々の欠点に伴う。例えば、かかる位置合わせは、退屈で時間がかかることがある。かかる位置合わせは、ユーザ入力を必要とし得、かつ／又はロボット医療処置を開始する前に実行する必要があるため、一般的には自動とは見なされない。更に、かかる位置合わせは、例えば、オペレータが基準に正確にナビゲートしない場合、システムに不正確さを導入する可能性がある。加えて、かかる位置合わせは、E M 場発生器 202 の位置が処置中に固定されたままであることを必要とする。E M 場発生器 202 が移動した（例えば、手術室内の誰かによって偶発的に衝突された、又は患者へのアクセスを可能にするために移動された）場合、関係を再確立するために位置合わせを再び行う必要がある。これは、例えば、蛍光透視 C アームへのアクセスを可能にするために E M 場発生器 202 を移動させる必要があるため、問題となり得る。この場合、E M 場発生器 202 を除去し、C アームを、1 つ又は 2 つ以上の画像を捕捉するのに適した位置に移動させ、次いで、C アームを除去し、E M 場発生器 202 を適所に戻し、オペレータが E M 座標フレームとロボット又はグローバル座標フレームとの位置合わせステップをやり直すことが必要となる。

【0106】

以下でより詳細に説明するように、これらのタイプの位置合わせの必要性は、例えば、図 23 ~ 図 25 に示すように、ロボットアームに直接結合され得るロボット制御可能な電磁場発生器を使用することで、低減又は排除され得る。ロボット制御可能な電磁場発生器をロボットアームに結合することによって、ロボット制御可能な電磁場発生器とロボットアームとの間の関係又は位置合わせを運動学的に決定することができ、したがって、E M 座標フレーム 208 をロボット座標フレーム 216 内に配置することができる。

【0107】

加えて、図 22B 及び図 22C を参照して説明されるものなどの位置合わせ手順を使用する以前のシステムでは、E M 場発生器 202 の位置は、処置中に固定されたままでなければならないため、関連医療部位を網羅するために十分に大きいサイズの作業体積 206 を生成するために、物理的により大きく、時として、より扱いにくい E M 場発生器 202 を使用する必要がある。一部の状況又は用途では、これは、患者に対して E M 場発生器 202 を設定及び位置決めする際の難易度を高める可能性がある。一部の状況又は用途では、これは、処置中に患者の周囲の利用可能な空間を制限し、かつ／又は更に多くの設定時間が必要となる可能性がある。例えば、図 22 ~ 25 に示すように、ロボットアームに直接結合され得るロボット制御可能な電磁場発生器の使用は、図 22A に示されるような E M 場発生器 202 と関連するこれらの制限のうちの 1 つ又は 2 つ以上を低減又は排除することができる。

【0108】

B . ロボット制御可能な電磁場発生器の概要

図 23 は、ロボットアーム 212 に結合されたロボット制御可能な E M 場発生器 302 の一実施形態を含むロボット医療システム 300 の一実施形態を示している。以下でより詳細に説明するように、E M 場発生器 302 をロボットアーム 212 に結合することは、例えば、(1) ロボットアーム 212 の運動学に基づいて、E M 場発生器 302 の E M 座標フレーム 308 とロボット座標フレーム 216 との間のより正確及び／又はより単純な位置合わせを可能にすること、及び／又は(2) ロボットアーム 212 を使用して、E M 場発生器 302 の位置を移動又は再調整することを可能にすること、を含む複数の利点を

10

20

30

40

50

提供することができる。

【0109】

図22Aのロボット医療システム200と同様に、図23のロボット医療システム300では、ロボットアーム212をロボット座標フレーム216に関連付けることができる。ロボットアーム212の既知の運動学に起因して、ロボットアーム212の位置は、ロボット座標フレーム216を参照して決定され得る。例えば、ロボットアーム212を構成する種々のリンクの長さが既知であり、ロボットアーム212のリンク間の角度を決定することができるので、ロボットアーム212の位置は、ロボット座標フレーム216内で運動学的に定義される。加えて、ロボット医療システム300の一部の実施形態に関して、患者プラットフォーム215及び患者に対するカート210の位置及び向きは、ロボット座標フレーム216が、患者又は患者の解剖学的構造の一部に位置合わせされ得るグローバル座標フレームと見なされ得るように、決定、設定、又は制御され得る。例えば、一部の実施形態では、ロボット座標フレーム216内の上、下、右、左などは、患者、患者プラットフォーム215、及び/又は他の構成要素を含むグローバル座標フレーム内の上、下、右、左などに対応することができる。そうすることで、患者の解剖学的構造内でナビゲートするオペレータの能力を促進することができる。より具体的な例として、ロボットシステム300が、ロボットアーム212がそこから延在するカートを備える、気管支鏡又は尿管鏡処置の間、カートは、ベッドと平行に位置決めすることができる。ベッド及びカートは、共通の重力ベクトル(すなわち、それらの両方に対して天井への上昇点)を有する。この情報を使用して、システムは、ユーザが気管支鏡又は尿管鏡を駆動しているときにどの方向が上(前方)又は下(後方)であるかをユーザに示し、空間的コンテキストを提供することができる。泌尿器科用途の場合、ユーザは、経皮的アクセスのためのターゲット選択の間、尿管鏡が後腎杯又は前腎杯内にあるかどうかを特定する必要がある。システムの向きは既知であるので、システムは、このナビゲーションを容易にするために解剖学的コンテキストを提供することができる。

10

20

【0110】

図23に示すように、EM場発生器302は、ロボットアーム212のうちの1つに結合され得る。一部の実施形態では、EM場発生器302は、ロボットアーム212の遠位端に結合される又は取り付けられるが、EM場発生器302は、他の位置(例えば、アームの遠位端と近位端との間の位置)でロボットアーム212に結合されても又は取り付けられてもよい。以下で説明される図24及び図25は、EM場発生器302のより詳細な実施形態を示し、一部の実施形態では、それがどのようにロボットアーム212に結合することができるかを示している。EM場発生器302をロボットアーム212に結合するための他の方法及び機構も可能である。更に、一部の実施形態では、EM場発生器302は、ロボットアーム212自体の中に統合され得る(例えば、ロボットアーム212の上又は中の構成要素であり得る)。例えば、EM場発生器302は、ロボットアーム212のリンクのうちの1つ(最遠位リンクなど)に、又は例えばロボットアーム212の遠位端に位置決めされた器具ドライバ若しくは器具駆動機構に統合されてもよい。EM場発生器302を組み込むことができる例示的な器具ドライバ62、75、83、146が、上記の図14~17に示されているが、これらの例は限定的ではない。

30

40

【0111】

EM場発生器302をロボットアーム212に結合することによって、ロボットアーム212の運動学を使用して、EM場発生器302のEM座標フレーム308とロボット座標フレーム216及び/又はグローバル座標フレームとの間の位置合わせを提供することができる。すなわち、ロボットアーム212の運動学(上述したように既知である)を使用して、EM場発生器302のEM座標フレーム308をロボット座標フレーム216又はグローバル座標フレームに関連付けることができる。これは、図22Aのロボットシステム200などの別個のEM場発生器202を含むロボット医療システムと比べて1つ又は2つ以上の利点を提供することができる。

【0112】

50

1つの利点は、E M場発生器302をロボットアーム212に結合することによって、別個の位置合わせステップ（上述したように、ユーザ入力を必要とし得る）の必要性が排除され得ることであり得る。例えば、ロボット医療システム300では、E M座標フレーム308をロボット座標フレーム216又はグローバル座標フレームに位置合わせするために、図22B及び図22Cを参照して説明した位置合わせステップなどの別個の位置合わせステップを手動で実行する必要がない場合がある。ロボット医療システム300では、かかる位置合わせは、単にE M場発生器302をロボットアーム212に取り付けることによって、自動的に行うことができる（例えば、システムが実行することができる）。次いで、ロボット医療システム300は、ロボットアーム212の既知の運動学を使用し、E M座標フレーム308及びロボット座標フレーム216又はグローバル座標フレームに関連付けることができる。

10

【0113】

E M場発生器302をロボットアーム212に結合することによって達成され得る別の利点は、E M座標フレーム308とロボット座標フレーム216との間の位置合わせの精度が向上し得ることである。上述したように、図22Aのロボットシステム200などのシステムでは、位置合わせステップは、例えば、手動位置合わせステップ中のナビゲートの不正確さに起因して、システムが不正確となる場合がある。ロボット医療システム300において、E M座標フレーム308とロボット座標フレーム216との間の位置合わせの精度は、主に、ロボットアーム212の運動学の精度によって決定される。これらが既知であり、明確に定義されている場合、E M座標フレーム308とロボット座標フレーム216との間の位置合わせは、非常に正確なものとなり得る。

20

【0114】

E M場発生器302をロボットアーム212に結合することを含む一部の実施形態によって提供される更なる利点は、E M場発生器302の位置がロボットアーム212を使用して調整され得ることであり得る。これは、それ自体で、1つ又は2つ以上の利点を提供することができる。一例として、ロボットアーム212を使用して、E M場発生器302を移動又は再位置決めすることができる。これは、例えば、オペレータが、E M場発生器302の磁場の作業体積306の位置を調整することを可能にし得る。以下で説明するように、例えば、器具214が身体を通して移動するときはこの器具の移動をE M場発生器302が追跡するように、ロボットアーム212を使用してE M場発生器302を移動させることができる。加えて、例えば、蛍光透視Cアームが患者にアクセスすることを可能にするために、E M場発生器302がロボットアーム212によって移動又は再位置決めされて、患者へのアクセスを容易にしてもよい。例えば、ロボットアーム212を使用して、E M場発生器302を邪魔にならないように移動させることができる。更に、ロボットアーム212がE M場発生器302を移動させる場合、ロボットアーム212の運動学によって決定されるE M座標フレーム308とロボット座標フレーム216との間の関係は、既知のままである。したがって、E M場発生器302の移動後に、E M座標フレーム308をロボット座標フレーム216に対して再位置合わせする必要がない場合がある。

30

【0115】

E M場発生器302をロボットアーム212に結合することによって達成可能な別の利点は、E M場発生器302とE Mセンサ204との間の向き及び距離の精度が向上するように調整され得るので、E Mセンサ204の決定された位置の精度が向上することを含み得る。例えば、E Mセンサ204の決定された位置の精度は、作業体積306の縁部に近づくにつれて低下することがある。E Mセンサ204が作業体積306の縁部により近いと判定された場合、ロボットアーム212は、E Mセンサ204が作業体積306の中心のより近くに（又は作業体積306の縁部から離れて）位置決めされるように、E M場発生器302を移動させることができ、決定された位置の精度を高めることができる。別の例として、ロボットアーム212は、E M場発生器302をE Mセンサ204のより近くに移動させて、E Mセンサ204に焦点を合わせ、E Mセンサ204の位置をより厳密に追跡することができる（本明細書ではE M焦点合わせと称される）。

40

50

【 0 1 1 6 】

加えて、ロボットアーム 2 1 2 は、別個の位置合わせステップを必要とすることなく、E M 場発生器 3 0 2 の位置を容易に調整することができるので、概して静止 E M 場発生器を使用する他のロボットシステム（ロボットシステム 2 0 0 など）と比較して、より小さい E M 場発生器を使用することができる。静止 E M 場発生器が使用される場合、それらは、医療部位をカバーするために十分に大きい作業体積を提供するのに十分なだけ大きくなくてはならない。そうであっても、医療部位にアクセスするためにそこを通過してナビゲートされる患者の解剖学的構造の部分など、患者の解剖学的構造の全ての部分をカバーしない場合がある。E M 場発生器 3 0 2 をロボットアーム 2 1 2 に結合することによって、ロボットアーム 2 0 2 を用いて E M 場発生器 3 0 2 を移動させることによって作業体積 3 0 6 の位置を調整することができるので、一部の場合ではより小さい作業体積を有し得る、より小さい E M 場発生器が使用され得る。一部の実施形態では、これは、コンパクトな電磁場発生器（compact field generator、c F G）の使用を可能にし得る。しかしながら、コンパクトな電磁場発生器の使用は必要とされず、一部の実施形態では、より大きい電磁場発生器をロボットアームに結合することができる。

10

【 0 1 1 7 】

ロボットアーム 2 1 2 に結合されると、E M 場発生器 3 0 2 は、前述の E M 場発生器 2 0 2 と同様に機能し得る。例えば、図 2 3 のシステム 3 0 0 の図示の実施形態では、器具 2 1 4 のうちの 1 つ又は 2 つ以上は、その遠位端に及び / 又は器具 2 1 4 の他の部分上に位置決めされた 1 つ又は 2 つ以上の E M センサ 2 0 4 を含み得る。加えて、図示の実施形態は、患者の呼吸によって引き起こされる運動を追跡するために使用され得る、患者の胸部に取り付けられた第 2 の E M センサ 2 0 4 を含む。E M センサ 2 0 4 が E M 場発生器 3 0 2 の作業体積 2 0 6 内に位置決めされると、E M 座標フレーム 3 0 8 内の E M センサ 2 0 4 の位置を決定することができる。

20

【 0 1 1 8 】

更に、ロボットアーム 2 1 2 の運動学を使用して、E M 座標フレーム 3 0 8 をロボット座標フレーム 2 1 6 に対して位置合わせすることができるので、ロボット座標フレーム 2 1 6 又はグローバル座標フレーム内の E M センサ 2 0 4 の位置を決定することができる。E M 場発生器 3 0 2 をロボットアーム 2 1 2 に物理的に接続することによって、E M 座標フレーム 3 0 8 とロボット座標フレーム 2 1 6 又はグローバル座標フレームとは、E M センサ 2 0 4 の位置がロボット座標フレーム 2 1 6 又はグローバル座標フレーム内で決定され得るようにリンクされ得る。

30

【 0 1 1 9 】

例えば、図 2 3 の図示の実施形態では、ロボット医療システム 3 0 0 は、E M 場を発生させるように構成された E M 場発生器 3 0 2 を含み得る。ロボット医療システム 3 0 0 は、ロボットアーム 2 1 2 を含み得る。第 1 のロボットアーム 2 1 2 は、E M 場発生器 3 0 2 に結合され、E M 場発生器 3 0 2 を移動させるように関節運動するように構成され得る。ロボット医療システム 3 0 0 はまた、E M 場発生器 3 0 2 に関連付けられた E M 座標フレーム 3 0 2 において、E M 場内の E M センサ 2 0 4 の位置を決定するように構成された 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサを含み得る。プロセッサはまた、E M 座標フレーム 3 0 8 と第 1 のロボットアーム 2 1 2 に関連付けられたロボット座標フレーム 2 1 6 との間の位置合わせを、ロボット座標フレーム内の E M 場発生器 3 0 2 の位置を決定することに基づいて決定するように構成され得る。これは、上述したように、ロボットアーム 2 1 2 の運動学を使用することによって達成することができる。プロセッサは、更に、ロボット座標フレーム 2 1 6 内の E M センサ 2 0 4 の位置を、位置合わせに基づいて決定するように構成され得る。

40

【 0 1 2 0 】

別の例として、図 2 3 の図示の実施形態では、ロボット医療システム 3 0 0 は、1 つ又は 2 つ以上のロボットアーム 2 1 2 の動きを制御するように構成された 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサを備えるコントローラ又は制御回路を含み得る。ロボットアーム 2 1 2 は、

50

制御回路からのコマンドの受信に応答して関節運動するように構成することができる。E M場発生器302は、E M場発生器もまた制御回路からの1つ又は2つ以上のコマンドに応答して移動するように、ロボットアーム212に結合され得る。

【0121】

ロボットアーム212に結合されるロボット制御可能なE M場発生器302に加えて、図23のロボットシステム300の図示の実施形態は、多くの点で、別個のE M場発生器202を含む、図22Aを参照して上記で説明したロボットシステム200、又は本出願全体を通して、若しくは他の場所で説明される他のロボット医療システムと類似し得る。例えば、図示の実施形態では、ロボット医療システム300は、2つのロボットアーム212を含むカート210を備える。2つのロボットアーム212とともに示されているが、ロボットシステム300は、他の数のロボットアーム212を使用してもよい。例えば、図2(上述)は、3つのロボットアーム12を含む例示的なカート11を示している。加えて、一部の実施形態では、ロボットアーム212は、カート210に取り付けられる必要はない。一部の実施形態では、ロボットアームは、例えば、図5～図10及び図14(前述)に示すように、ベッド又は患者プラットフォーム215に結合され得る。一部の実施形態では、ロボット医療システム300は、カート210、患者プラットフォーム、及び/又はシステムの他の構成要素に結合された複数のロボットアーム212(例えば、2つ、3つ、4つ、5つ、6つ、又はそれを上回るロボットアーム212)を備えてもよい。

10

【0122】

更に、ロボットシステム300は、単一のツール又は器具214(例えば、腹腔鏡器具又は内視鏡器具)がロボットアーム212のうちの1つに結合された状態で図23に示されているが、他の実施形態では、他の数の器具214(例えば、腹腔鏡、内視鏡、及びカメラを含む、2つ、3つ、4つ、5つ、6つ、又はそれ以上の器具)を使用し得ることを理解されたい。

20

【0123】

図24は、E M場発生器302の一実施形態を示している。図示の実施形態では、E M場発生器302は、E M場発生器302がロボットアーム212に取り付け可能であるように、ロボットアーム上に位置決めすることができる器具駆動機構402に結合するように構成される。図16を参照して上述したように、器具駆動機構402などの器具駆動機構は、ロボット医療システムによって使用するための種々のツール又は器具に取り付けるように適合されたインターフェース404を有して構成することができる。E M場発生器302は、器具駆動機構402のインターフェース404に結合するように構成された対応するインターフェース320を有して構成することができる。このようにして、E M場発生器302は、ロボットシステムの他のロボットツール又は器具と同様の方法でロボットアーム212に結合することができる。

30

【0124】

例えば、E M場発生器302のインターフェース320は、器具駆動機構402のインターフェース404上の1つ又は2つ以上の対応するコネクタ406に結合するように構成された1つ又は2つ以上のコネクタ322を含む。かかる構成は、オペレータが、E M場発生器302を器具駆動機構402に容易に取り外し可能に結合することを可能にし得る。

40

【0125】

図示の実施形態では、E M場発生器302は、ハウジング324を含む。ハウジング324の近位端326は、器具駆動機構402に結合するように構成され得る。例えば、近位端326は、インターフェース320及びコネクタ322を含み得る。ハウジング324は、近位端326から遠位端328まで延在することができる。遠位端328は、磁場を発生させるように構成されたE M場発生器ユニット330を含み得る。図示の実施形態では、遠位端328は、E M場発生器ユニット330を固定するように構成されたクリップ332を含む。E M場発生器ユニット330を固定するための他の機構又は方法が可能

50

である。一部の実施形態では、例えば、図示のように、E M場発生器ユニット330は、ハウジング324から取り外し可能であり得る。一部の実施形態では、E M場発生器ユニット330は、ハウジング324に統合される。図示の実施形態では、E M場発生器ユニット330はc F Gを含むが、他のタイプの電磁場発生器を使用することもできる。

【0126】

ハウジング326のサイズ及び形状は、E M場発生器ユニット330とE M場発生器302が取り付けられるロボットアームとの間の運動学的関係が既知であるように決定又は選択され得、これにより、E M場発生器に関連付けられたE M座標フレームとロボットアームに関連付けられたロボット座標フレームとの間の運動学的位置合わせを決定することができるようになる。

10

【0127】

図示の実施形態では、E M場発生器ユニット330は、1つ又は2つ以上のコネクタ334を備える。コネクタ334は、ロボットシステムがE M場発生器ユニットと通信することができるように、E M場発生器ユニット330をロボットシステムに電氣的に接続することができる。他の実施形態では、E M場発生器302のインターフェース320と器具駆動機構402のインターフェース404との間に電氣的接続が行われ得る。

【0128】

図25は、一実施形態による、E M場発生器302を器具駆動機構402にどのように取り付けることができるかを示している。図示の実施形態では、器具駆動機構402は、滅菌ドレープで覆われて示されている。滅菌アダプタ410は、器具駆動機構402のインターフェース404の上に位置決めされて示されている。E M場発生器302のインターフェース320は、E M場発生器302が器具駆動機構402に結合され、それらの間に滅菌アダプタ410が位置決めされるように、滅菌アダプタ410に取り付けることができる。図25に示すように、E M場発生器ユニット330もまた、滅菌ドレープで覆われてもよい。

20

【0129】

図26は、ロボットアームに結合する（又は別様で接続する、若しくは統合する）ように構成されたE M場発生器を使用してロボット医療処置を実施するための方法500の一実施形態を示すフローチャートである。図示した実施形態では、方法はブロック502で開始する。ブロック502は、第1のロボットアームに結合されたE M場発生器を用いてE M場を発生させることを含み得る。E M場は、E M座標フレームに関連付けることができる。次に、方法500はブロック504に移動し、ここで、E M座標フレームと第1のロボットアームに関連付けられたロボット座標フレームとの間の位置合わせが決定される。位置合わせは、ロボット座標フレーム内のE M場発生器の位置を、第1のロボットアームの運動学に基づいて決定することに基づき得る。ブロック506において、E M座標フレーム内のE Mセンサの位置が決定される。ブロック508において、方法は、ロボット座標フレームにおけるE Mセンサの位置を、ブロック504において決定された位置合わせに基づいて決定することを含む。

30

【0130】

一部の実施形態では、方法500は、例えば、図25に示すように、E M場発生器を第1のロボットアームに取り外し可能に結合することを任意選択で含み得る。方法500はまた、任意選択的に、第1のロボットアームでE M場発生器を移動させることを含み得る。E M場発生器を移動させることは、E M場の作業体積を、処置を容易にするために必要に応じて位置決めすることができ、かつ/又は医療処置中に患者へのアクセスを可能にするためにE M場発生器を邪魔にならないように移動させることができるという点で有用であり得る。E Mセンサに対するE M場発生器の位置を調整するために第1のロボットアームを用いてE M場発生器を移動させることはまた、E M場座標フレーム内の（及びそれに対応して、位置合わせを通してロボット座標フレーム内の）E Mセンサの決定された位置の精度を向上させることができる。

40

【0131】

50

方法 5 0 0 はまた、第 2 のロボットアームに結合された医療器具を移動させることを含むことができ、ロボット座標フレームはまた、第 2 のロボットアームに関連付けられる。E M センサは、第 2 の器具のナビゲーションの誘導が、E M センサの決定された位置に少なくとも部分的に基づいて決定され得るように、医療器具上に位置決めされ得る。

【 0 1 3 2 】

C . ロボット制御可能な電磁場発生器の例示的な用途

上記で説明される利点のうちの 1 つ又は 2 つ以上を提供することに加えて、ロボットアームに結合されるか、又は別様に統合されるロボット制御可能な電磁場発生器は、ロボット医療処置中に種々の機能性を可能にし、容易にし、かつ / 又は改善するために使用され得る。本セクションでは、例えば、静的又は静止電磁場発生器を含む他のロボットシステムよりも有利であり得る、ロボット制御可能な電磁場発生器のための複数の例示的な用途を概説する。

10

【 0 1 3 3 】

i . 電磁場発生器の設定及び器具の追跡

上述したように、ロボットアームに結合された又はロボットアームに組み込まれたロボット制御可能な電磁場発生器を使用して、電磁場発生器の設定及び器具の追跡を容易にすることができる。本セクションでは、これらの概念を限定することなく例示するために、複数の例を提供する。

【 0 1 3 4 】

本明細書で使用される場合、E M 場発生器の「設定」は、処置を容易にするために E M 場発生器をどこに位置決めすべきかを判定することを指す。位置は、例えば、1 つ又は 2 つ以上の E M センサの決定された位置に基づいてもよい。一部の 경우에는、位置は、例えば、E M センサのうちの 1 つ又は 2 つ以上が処置中に移動されたときに、処置中に調整されてもよい。図 2 1 及び図 2 2 A を参照して上述したように、E M 場発生器 2 0 2 は、電磁場発生器 2 0 2 の作業体積 2 0 6 が、医療処置が実施される患者の解剖学的構造の一部分（例えば、医療部位）と重なるように、患者に対して位置決めされる。E M 場発生器 2 0 2 は、患者プラットフォーム 2 1 5 などのスタンド又は他の支持構造によって支持され得る。位置決めされると、位置合わせステップ（図 2 2 B 及び図 2 2 C を参照して説明したものなど）が実行されて、E M 場発生器 2 0 2 に関連付けられた E M 座標フレーム 2 0 8 がロボット座標フレーム 2 1 6 に対して位置合わせされる。更に、処置の間、移動は手動で行う必要があり、E M 場発生器 2 0 2 に関連付けられた E M 座標フレーム 2 0 8 をロボット座標フレーム 2 1 6 に再位置合わせするために位置合わせステップを繰り返す必要があるため、E M 場発生器 2 0 2 は一般に移動させなかった。システムのロボットアームを使用して再位置決めされ得るロボット制御可能な E M 場発生器は、システムが E M 場発生器を位置決めすべき場所を決定することを可能にし、システムのロボットアームを使用して E M 場発生器をそれらの場所に移動させることによって、設定手順を容易にする。更に、処置中に E M センサを含むツール及び器具の位置が変化すると、システムは、E M 場発生器の位置を、E M 場発生器が有利な位置に位置決めされたままとなるように調整することができる。

20

30

【 0 1 3 5 】

図 2 8 A 及び図 2 8 B は、（例えば、図 2 3 ~ 2 5 を参照して上述した）ロボット制御された E M 場発生器 3 0 2 を使用して、医療処置に使用される種々のツール及びデバイスの設定及び位置決めを容易にすることができることを示す導入例を示している。追加の例については、以下で更に詳細に説明する。図 2 8 A は、3 つの E M 位置センサ 2 0 4、並びにロボットアーム 2 1 2 に結合された E M 場発生器 3 0 2 を示している。E M 位置センサ 2 0 4 は、例えば、医療器具（内視鏡、腹腔鏡、及び / 又は他のタイプの手術ツールなど）上に、又は患者上に直接（例えば、患者の移動又は呼吸を追跡するように構成された E M パッチセンサなど）位置決めすることができる。図示を容易にするために、医療器具は図示されていない。

40

【 0 1 3 6 】

50

図 2 8 A に示すように、システムは、E M センサ 2 0 4 の場所を特定するために、ロボットアーム 2 1 2 を使用して E M 場発生器 3 0 2 を移動させるように構成され得る。かかる移動は、E M 場発生器 3 0 2 の並進、回転、及び / 又は振動を含み得る。図 2 8 A には、円形経路の例が示されている。E M センサ 2 0 2 の位置が決定されると、ロボットアーム 2 1 2 は、例えば、図 2 8 B に示すように、E M センサ 2 0 4 が E M 場発生器 3 0 2 の作業体積 3 0 6 内に位置決めされる、比較的改善された（本明細書では「作業場所」と称される）又は集中化された場所に E M 場発生器 3 0 2 を再位置決めするように移動することができる。これは、システムが、E M 場発生器 3 0 2 を自動的に位置決めすべき作業場所又は中心場所を決定することができるので、設定を容易にすることができる。関連する態様では、1 つ又は 2 つ以上の E M センサ 2 0 4 の位置は、E M 場発生器によって達成可能な移動又は振動の範囲、医療処置ステップ、及び / 又は患者の解剖学的特徴に基づいて、E M センサ 2 0 4 の比較的改善された配置を達成するように調整され得る。

10

【 0 1 3 7 】

一部の実施形態では、システムは、E M センサ 2 0 4 の位置及び / 又は向きを突き止め、決定し、次いで、それらの位置の重心若しくは幾何学的中心、又は位置のうちの 1 つ又は 2 つ以上によって画定された形状を計算する。次いで、E M 場発生器 3 0 2 は、作業体積 3 0 6 の中心が、例えば、E M センサ 2 0 4 の位置の決定された重心と整合するように、ロボットアーム 2 1 2 を使用して位置決めされることができる。

【 0 1 3 8 】

加えて、図 2 8 A は、E M 場発生器 3 0 2 が作業体積 3 0 6 の機能的サイズを増加させ得ることを示している。例えば、E M センサ 2 0 4 が、全てが作業体積 3 0 6 内に収まることのできないように離隔している場合、システムは、E M 場発生器を（走査運動において）移動させ、E M センサ 2 0 4 の全てを追跡するのに十分な大きさを有する機能的な作業体積 3 0 6 を生成することができる。一部の実施形態では、システムは、特定の E M センサ 2 0 4 が常に作業体積 3 0 6 内に位置決めされたままである一方で、他の E M センサ 2 0 4 が時には作業体積 3 0 6 の内側にあり、時には外側にあるように、それらの E M センサに優先順位を付けることができる。

20

【 0 1 3 9 】

「器具追跡」は、本明細書で使用される場合、概して、E M センサの動きを追跡又は追従するためにロボットアームを使用してロボット制御可能な E M 場発生器を移動させることを指す。上述したように、従来のシステムは、概して、E M センサの動きを追跡又は追従するように移動させることができないか又は（再位置合わせを回避するために）移動させることができない静止 E M 場発生器の使用を伴うものであった。かかるシステムでは、E M センサが E M 場発生器の作業体積の外側に移動した場合、E M センサは、作業体積の中に戻されるまで、もはや検出可能ではなくなる。ロボットアームとともに移動され得るロボット制御可能な電磁場発生器は、1 つ又は 2 つ以上の器具センサの動きを追跡するように E M 場発生器を移動させるか、又は別様に調整することを可能にすることによって、器具追跡を容易にすることができる。したがって、E M センサを E M 場発生器の作業体積の外側に移動させるのではなく、E M 場発生器は、E M センサが作業体積内に位置決めされたままとなるように E M センサとともに移動させることができ、E M センサの継続的な追跡を容易にする。

30

40

【 0 1 4 0 】

図 2 7 A 及び図 2 7 B は、図 2 3 ~ 2 5 を参照して上述した E M 場発生器 3 0 2 などのロボット制御可能な電磁場発生器を使用して容易にすることができる自動器具追跡の導入実施形態を示している。具体的には、図 2 7 A 及び図 2 7 B は、例示的な医療処置中の、例えば、尿管鏡 5 0 2 が患者の開口部を通り、尿管を通して腎臓に入るようにロボット制御でナビゲートされる尿管鏡処置中の、自動器具追跡の例を示している。尿管鏡処置が図示されているが、自動器具追跡は、内視鏡処置及び / 又は腹腔鏡処置を含む他のタイプの処置で使うことができる。図 2 7 A は、より早い又は第 1 の時間 / ステップ（例えば、尿管鏡 5 0 2 の挿入直後）における処置を示しており、図 2 7 B は、より遅い又は第 2

50

の時間 / ステップ (例えば、尿管鏡 5 0 2 の遠位先端部が腎臓内にナビゲートされた後) における処置を示している。

【 0 1 4 1 】

図 2 7 A 及び図 2 7 B に示すように、尿管鏡 5 0 2 は、例えば図 3 に関して説明したように、尿管鏡 5 0 2 を操作し、その挿入を行うように構成された 1 つ又は 2 つ以上のロボットアーム 2 1 2 に結合され得る。図 2 7 A 及び図 2 7 B では、E M 場発生器 3 0 2 は、E M 場発生器 3 0 2 の位置 (及びそれに対応して、E M 場発生器 3 0 2 によって生成される磁場の作業体積 3 0 6 の位置) を調整するために移動するように構成された第 3 のロボットアーム 2 1 2 に結合される。上述したように、E M 場発生器 3 0 2 はロボットアーム 2 1 2 に取り付けられているので、E M 場発生器 3 0 2 に関連付けられた E M 座標フレームは、E M 場発生器 3 0 2 が取り付けられているロボットアーム 2 1 2 の運動学を通して、ロボットアーム 2 1 2 に関連付けられたロボット座標フレームに自動的に位置合わせされ得る。

10

【 0 1 4 2 】

図 2 7 A 及び図 2 7 B に示すように、システムは、尿管鏡 5 0 2 の位置を自動的に追跡するように、対応するロボットアーム 2 1 2 を用いて E M 場発生器 3 0 2 を移動させるように構成され得る。図示の実施形態では、尿管鏡 5 0 2 は、その遠位先端部に位置決めされた E M センサ 2 0 4 を含む。上述したように、E M センサ 2 0 4 の位置は、E M センサ 2 0 4 が E M 場発生器 3 0 2 の作業体積 3 0 6 内に位置決めされた場合に、E M 座標フレームに対して決定することができる。更に、E M 座標フレームをロボット座標フレームに位置合わせすることができるので、ロボット座標フレーム内の E M センサ 2 0 4 の位置も決定可能である。

20

【 0 1 4 3 】

尿管鏡 5 0 2 が患者に更に挿入されると、E M 場発生器が取り付けられたロボットアーム 2 1 2 は、位置センサ 2 0 4 が E M 場発生器の作業体積 3 0 6 内に位置決めされたままとなるように E M 場発生器を自動的に再位置決めするように移動又は調整され得る。一部の実施形態では、尿管鏡 5 0 2 のこの自動追跡は、E M 場発生器 3 0 2 が、E M センサ 2 0 4 が作業体積 3 0 6 の中心に位置決めされたままとなるように移動又は調整されるように構成されるが、これは、全ての実施形態において当てはまる必要はない。加えて、一部の実施形態では、E M 場発生器 3 0 2 の向きは、その位置を決定する際に最適な又は改善された精度を提供するために、E M センサ 2 0 4 に対して調整され得る。

30

【 0 1 4 4 】

このタイプの自動追跡は、有利には、尿管鏡 5 0 2 の位置が処置全体を通して (例えば、腎臓内への挿入から作業まで) 追跡されることを可能にし得る。これは、静的又は静止電磁場発生器を使用するロボットシステムでは可能でない場合がある。上述したように、静的又は静止電磁場発生器は、多くの場合、それらの作業体積が主要な医療部位 (例えば、腎臓) を中心とするように設定される。この位置では、作業体積は、尿管を通した挿入及びナビゲーションを網羅するのに十分なだけ広がらない場合がある。したがって、静的又は静止電磁場発生器を使用するシステムでは、オペレータは、器具を電磁場発生器の作業体積の中にナビゲートするまで、E M ベースのナビゲーションを利用することができない場合がある。また、医療部位への器具の挿入及びナビゲーション中に器具に追従するように静的又は静止電磁場発生器を移動させることは、電磁場発生器が移動されるたびに位置合わせステップを再実行する必要があるが、これは非実用的であり、医療処置中に遅延を引き起こし、潜在的に処置の結果に悪影響を及ぼす可能性があるため、一般に可能ではない。

40

【 0 1 4 5 】

しかしながら、図 2 7 A 及び図 2 7 B に示すように、ロボット制御された E M 場発生器 3 0 2 は、ロボットアーム 2 1 2 が必要に応じて E M 場発生器 3 0 2 を再位置決めすることができるので、腎臓内への挿入から作業まで尿管鏡 5 0 2 の位置を容易に追跡することができ、ロボットアーム 2 1 2 の運動学を使用して、E M 座標フレームとロボット座標フ

50

レーンとの間の連続的な位置合わせを提供することができる。

【 0 1 4 6 】

図 2 7 A 及び図 2 7 B に示される自動器具追跡を使用して達成され得る追加の利点は、改善された解剖学的マッピングである。器具が患者の解剖学的構造を通してナビゲートされた場合、器具上の E M センサの位置は、解剖学的マップを構築するために使用され得る。例えば、気管支鏡検査の場合、E M センサを含む気管支鏡が患者の気道を通してナビゲートされるので、E M センサの決定された位置を使用して、患者の肺のマップを生成することができる。静的又は静止 E M 場発生器では、これは、E M 場発生器の作業体積内の領域に対してのみ可能である。しかしながら、ロボットアーム 2 1 2 が E M 場発生器 3 0 2 を再位置決めすることを可能にするロボット制御可能な E M 場発生器 3 0 2 を使用することで、解剖学的マップを生成する能力が高められる。

10

【 0 1 4 7 】

図 2 7 A 及び 2 7 B の例を使用して、E M センサ 2 0 4 の位置は、腎臓内（図 2 7 B ）への挿入（図 2 7 A ）から決定され、患者の尿路の略完全な解剖学的マップを生成することができる。対照的に、静的な電磁場発生器が、その作業体積が腎臓を中心とした状態で使用される場合、患者の尿管をマッピングするために使用され得る E M センサデータは、利用可能ではない場合がある。したがって、本明細書で説明されるようなロボット制御可能な E M 場発生器 3 0 2 を使用することで、E M センサデータを使用して解剖学的マッピングを生成する能力を拡張し、より完全な解剖学的マップをもたらすことができる。

【 0 1 4 8 】

20

図 2 9 は、ロボットアーム 2 1 2 上に搭載されたロボット制御可能な E M 場発生器 3 0 2 を含む、図 2 2 A に図示の例などのロボット医療システム 3 0 0 を表すブロック図である。図 2 9 に（また、図 2 3 にも）示されるように、システム 3 0 0 は、1 つ又は 2 つ以上のロボットアーム 2 1 2 を含む得る。図示の実施形態では、システム 3 0 0 は、第 1 のロボットアーム 2 1 2 及び第 2 のロボットアーム 2 1 2 を含むが、他の実施形態では、他の数のロボットアーム（例えば、1 つ、2 つ、3 つ、4 つ、5 つ、6 つ、又はそれを上回る）が含まれ得る。示されるように、第 1 のロボットアーム 2 1 2 は、E M 場発生器 3 0 2 に結合される。上述したように、E M 場発生器 3 0 2 は、第 1 のロボットアーム 2 1 2 に取り付けるか又は結合することができ、あるいは第 1 のロボットアーム 2 1 2 自体に直接組み込むことができる。E M 場発生器 3 0 2 は、作業体積 3 0 6 を有する E M 場を発生させるように構成され、その中で、E M センサ 2 0 4 の位置が、E M 座標フレーム 3 0 8 に対して決定され得る。第 1 のロボットアーム 2 1 2 は、E M 場発生器 3 0 2 の位置を調整することができるように構成され得る。例えば、第 1 のロボットアーム 2 1 2 は、E M 場発生器 3 0 2 の位置、及びそれに応じて E M 場の作業体積 3 0 6 の位置を再調整するために移動する（例えば、姿勢又は形状を変化させる）ことができる。

30

【 0 1 4 9 】

第 1 のロボットアーム 2 1 2 （並びにシステムの他のロボットアーム 2 1 2 ）は、上述したようにロボット座標フレーム 2 1 6 に関連付けられる。ロボット座標フレーム 2 1 6 内の E M 場発生器 3 0 2 の位置を、アーム 2 1 2 の運動学的位置に基づいて決定することができる。これは、E M 座標フレーム 3 0 8 とロボット座標フレーム 2 1 6 との間の位置合わせ又はマッピングが上述したように決定されることを可能にする。図 2 9 に（及び図 2 3 にも）示すように、システム 3 0 0 は、1 つ又は 2 つ以上の E M センサ 2 0 4 を含む得る。E M センサ 2 0 4 の位置は、E M 座標フレーム 3 0 8 に対して決定され、前述した位置合わせを使用してロボット座標フレーム 2 1 6 にマッピングされ得る。

40

【 0 1 5 0 】

図 2 9 （及び図 2 3 ）では、E M センサ 2 0 4 のうちの 1 つは、医療器具 2 1 4 上に位置決めされる。医療器具 2 1 4 は、一部の実施形態では、第 2 のロボットアーム 2 1 2 に結合され得る。これにより、第 2 のロボットアーム 2 1 2 が医療器具 2 1 4 を操作及び制御することが可能となり得る。第 2 のロボットアーム 2 1 2 が医療器具 2 1 4 を操作及び制御するとき、医療器具 2 1 4 の位置は、E M センサ 2 0 4 の決定された位置に基づいて

50

決定され得る。図 2 9 に示すように、システム 3 0 0 は、同様に追跡することができる追加の E M センサ 2 0 4 を含み得る。

【 0 1 5 1 】

図 2 9 のブロック図は、システム 3 0 0 がプロセッサ 3 8 0 及びメモリ 3 8 2 を含むことができることを更に示している。メモリ 3 8 2 は、命令を記憶するために使用され得、命令は、プロセッサ 3 8 0 によって実行されると、本セクション及び本出願全体を通して説明されるように、E M 座標フレーム 3 0 8 からロボット座標フレーム 2 1 6 への位置合わせ及びマッピングの決定及び使用、E M 場発生器 3 0 2 の設定、並びに医療器具 2 1 4 の追跡などの、システム 3 0 0 の種々の機能性を有効にすることができる。例えば、プロセッサ 3 8 0 は、第 1 のロボットアーム 2 1 2 及び E M 場発生器 3 0 2 と通信することができ、E M 場発生器 3 0 2 によって生成された E M 場内の E M センサ 2 0 4 のうちの 1 つ又は 2 つ以上の位置を決定することと、E M センサ 2 0 4 の決定された位置に基づいて第 1 のロボットアーム 2 1 2 の移動を命令することによって E M 場発生器 3 0 2 の位置を調整することとを行うように構成され得る。E M センサ 2 0 4 の決定された位置に基づく第 1 のロボットアーム 2 1 2 の命令された移動は、E M 場発生器 3 0 2 の位置を設定するために、又は処置中に移動するときの E M センサ 2 0 4 の位置を追跡するために使用することができる。

10

【 0 1 5 2 】

一部の実施形態では、プロセッサ 3 0 2 は、最初に、E M 座標フレーム 3 0 8 に対する E M センサ 2 0 4 の位置を決定し、次いで、その位置をロボット座標フレーム 2 1 6 にマッピングするように構成される。上述したように、これは、例えば、(i) E M 場発生器 3 0 2 に関連付けられた E M 座標フレーム 3 0 8 に対する E M 場内の E M センサ 2 0 4 の位置を決定すること、(i i) E M 座標フレーム 3 0 8 と第 1 のロボットアーム 2 1 2 に関連付けられたロボット座標フレーム 2 1 6 との間の位置合わせを、ロボット座標フレーム 2 1 6 内の E M 場発生器の位置を決定することに基づいて決定すること、及び (i i i) ロボット座標フレーム 2 1 6 内の E M センサ 2 0 4 の位置を、位置合わせに基づいて決定すること、によって達成することができる。ステップ (i i) におけるロボット座標フレーム 2 1 6 内の E M 場発生器 3 0 2 の位置の決定は、第 1 のロボットアーム 2 1 2 の運動学に基づき得る。

20

【 0 1 5 3 】

図 3 0 A ~ 図 3 3 D は、電磁場発生器設定及び器具追跡を容易にするために、E M センサ 2 0 4 の決定された位置に基づいて、第 1 のロボットアーム 2 0 4 を用いて E M 場発生器 3 0 2 を移動させることに対する種々の例又はアプローチを示している。

30

【 0 1 5 4 】

図 3 0 A 及び図 3 0 B は、E M センサが E M 場内の所定の位置に位置決めされるように、ロボットアームを用いて E M 場発生器を移動させる例を示す斜視図である。これは、例えば、電磁場発生器の設定中に行うことができ、E M センサ 2 0 4 に対して E M 場発生器 3 0 2 を位置決めするために有利に使用することができる。一部の実施形態では、E M センサ 2 0 4 が E M 場の作業体積 3 0 6 とともに所定の位置に配置されるように、E M 場発生器 3 0 2 を設定する又は整合することが有利であり得る。これは、複数の理由から有用であり得る。例えば、一部の場では、これは、E M 場の作業体積 3 0 6 を E M センサ 2 0 4 の周囲の中心に置くことができる。これは、E M センサ 2 0 4 が移動した場合に、作業体積 3 0 6 の外側に移動することなく移動することができるため、E M センサ 2 0 4 が依然として追跡され得ることを確実にすることに役立ち得る。別の例として、これは、E M センサ 2 0 4 の決定された位置の精度を高めることができるが、これは、一部の例では、E M 場内の E M センサ 2 0 4 の位置を決定する能力は、作業体積 3 0 6 の端部上よりも作業体積 3 0 6 の中心に向かってより正確となり得るためである。したがって、一部の実施形態では、所定の位置は、作業体積 3 0 6 の中心を備え、E M 場発生器 3 0 2 は、図 3 0 A 及び図 3 0 B に示すように、E M センサ 2 0 4 が作業体積 3 0 6 の中心に位置決めされるように移動する。

40

50

【 0 1 5 5 】

図 3 0 A 及び図 3 0 B では、所定の位置 3 8 4 は、作業体積 3 0 6 の中心であり、図では x として表される。図 3 0 A は、E M センサ 2 0 4 が所定の位置 3 8 4 に位置決めされるように E M 場発生器 3 0 2 を移動させる前の第 1 の状態にあるシステムを示している。図 3 0 A に示すように、E M センサ 2 0 4 は、E M 場発生器 3 0 2 の作業体積 3 0 6 内に位置決めされているが、所定の位置 3 8 4 には位置していない。E M センサ 2 0 4 を所定の位置 3 8 4 に位置決めするために、E M 場発生器 3 0 2 を図示の矢印の方向に移動させる必要があり、これは、作業体積 3 0 6 及び所定の位置 3 8 4 の対応する移動を引き起こす。図 3 0 B は、E M 場発生器 3 0 2 の位置を、決定された E M センサ 2 0 4 の位置に基づいて調整することにより、E M センサ 2 0 4 が E M 場内の所定の位置 3 8 4 に位置決めされた後の、第 2 の状態にあるシステムを示している。この例では、E M 場発生器 3 0 2 は、その位置が E M センサ 2 0 4 に対して調整されているので、ここでは「設定」と見なすことができる。注目すべきことに、E M 場発生器 3 0 2 の移動は、E M 場発生器 3 0 2 が取り付けられたロボットアーム 2 1 2 によって達成することができる。更に、全ての位置（例えば、E M センサ位置、所定の位置 3 8 4、及び E M 場発生器 3 0 2 の位置）を単一の空間（例えば、ロボット座標フレーム）内で処理することができるよう、E M センサ 2 0 4 の位置及び所定の位置 3 8 4 などの E M 座標フレーム内の点を、ロボットアームの運動学に基づく位置合わせを使用してロボット座標フレームにマッピングすることができる。

10

【 0 1 5 6 】

図 3 0 A 及び図 3 0 B では、E M 場の作業体積 3 0 6 内の 3 8 4 内の所定の位置は、作業体積 3 0 6 の中心を含む。しかしながら、これは、全ての実施形態に当てはまる必要はなく、作業体積 3 0 6 内の他の所定の位置 3 8 4 を使用することができる。例えば、別の可能な所定の位置 3 8 4 は、E M 場発生器 3 0 2 が E M センサ 2 0 4 を追跡し続けるために再位置決めされる必要がある前に、E M センサ 2 0 4 が作業体積 3 0 6 を完全に横断して移動され得るように、作業体積 3 0 6 の 1 つの極端部に位置する位置を含んでもよい。

20

【 0 1 5 7 】

一部の実施形態では、E M 場発生器 3 0 2 は、E M センサ 2 0 4 が、特定の所定の位置ではなく、E M 場の作業体積 3 0 6 の所定の領域又は部分内に位置決めされるように、位置決めすることができる。図 3 1 A 及び図 3 1 B は、E M センサ 2 0 4 が作業体積 3 0 6 内の所定の領域 3 8 6 内に位置決めされるように、ロボットアーム 2 1 2 を用いて E M 場発生器 3 0 2 を移動させる例を示す斜視図である。図 3 1 A 及び図 3 1 B では、作業体積 3 8 6 の小区分を表す、所定の領域 3 8 6 が示される。図では、作業体積 3 0 6 及び所定の領域 3 8 6 の両方が、直角プリズムとして表されている。しかしながら、これは一例にすぎず、作業体積及び所定の領域 3 8 6 の他の形状が可能である。更に、所定の領域 3 8 6 の形状は、作業体積 3 0 6 の形状に対応する必要はない。例えば、作業体積 3 0 6 は、直角プリズムの形状を含んでもよく、所定の領域 3 8 6 は、作業体積 3 0 6 内の球の形状を含んでもよい。一部の実施形態では、所定の領域 3 8 6 は、E M センサ 2 0 4 の位置をより高い精度で決定することができる作業体積 3 0 6 の一部分を表すことができ、したがって、E M センサ 2 0 4 が所定の領域 3 8 6 内にあるように、E M 場発生器 3 0 2 を E M センサ 2 0 4 に対して位置決めすることが望ましい場合がある。一部の実施形態では、所定の領域 3 8 6 は、作業体積 3 0 6 の全体を含んでもよい。

30

40

【 0 1 5 8 】

図 3 1 A は、E M センサ 2 0 4 が所定の領域 3 8 6 内に位置決めされるように E M 場発生器 3 0 2 の位置を調整する前の、第 1 の状態にあるシステムを示している。示されるように、E M センサ 2 0 4 は、E M 場の作業体積 3 0 6 内に位置決めされているが、所定の領域 3 8 6 内には位置決めされていない。E M センサ 2 0 4 が所定の領域 3 8 6 内に位置決めされるように作業体積 3 0 6 を位置決めするために、E M 場発生器 3 0 2 は、それが取り付けられるロボットアーム 2 1 2 を使用して、図示の矢印の方向に移動され得る。この動きにより、作業体積 3 0 6 及び所定の領域 3 8 6 の対応する移動が引き起こされる。

50

図 3 1 B は、E M センサ 2 0 4 が所定の領域 3 8 6 内に位置決めされるように E M 場発生器 3 0 2 の位置を調整した後の、第 2 の状態にあるシステムを示している。示されるように、E M 場発生器 3 0 2 は、E M センサ 2 0 4 がここで所定の領域 3 8 6 内に位置決めされるように、ロボットアーム 2 1 2 を使用して移動されている。上述したように、上述した位置合わせは、全ての位置が単一の空間内で表され得るように、アームの運動学に基づいて、E M 座標フレーム内の点をロボット座標フレーム内の対応する点にマッピングすることができる。

【 0 1 5 9 】

図 3 1 A ~ 図 3 1 B 及び図 3 2 A ~ 図 3 2 B の例は、E M センサ 2 0 4 に対して E M 場発生器 3 0 2 の位置を調整することを含む。一部の実施形態では、システムは、加えて、又は代替として、E M 場内の E M センサ 2 0 4 の向きを決定し、E M センサ 2 0 4 の決定された向きに基づいて、第 1 のロボットアーム 2 1 2 の移動を命令することによって、E M 場発生器 3 0 2 の向き及び位置のうちの少なくとも 1 つを調整してもよい。特定の例では、E M センサ 2 0 4 の位置が作業体積 3 0 6 内で決定され得る精度は、E M 場発生器 3 0 2 に対する E M センサ 2 0 4 の向きによって影響され得るか、又は影響を受け得る。したがって、一部の実施形態では、プロセッサ 3 8 0 は、E M 場内の E M センサ 2 0 4 の決定された位置の精度を高めるために、E M センサの決定された配向に基づいて E M 場発生器の向き及び位置のうちの少なくとも 1 つを調整するように構成される。これは、例えば、E M 場発生器 3 0 2 が取り付けられるロボットアーム 2 1 2 を使用して、E M センサ 2 0 4 に対して E M 場発生器 3 0 2 のピッチ、ヨー、及び / 又はロールを調整することを含み得る。

【 0 1 6 0 】

上述したように、図 3 1 A ~ 図 3 1 B 及び図 3 2 A ~ 図 3 2 B の例は、概して、処置のために E M 場発生器 3 0 2 を設定するために、E M センサ 2 0 4 の決定された位置に対する E M 場発生器 3 0 2 の位置を決定することに関した。この設定は、E M 場発生器 3 0 2 をロボットアーム 2 1 2 上に、その位置がロボットによって調整され得るように搭載することによって容易になる。E M 場発生器 3 0 2 の位置のロボット調整はまた、器具追跡を容易にし、これは、E M センサ 2 0 4 のうちの 1 つ又は 2 つ以上が処置中に移動するときに起こり得る。上述したように、E M センサ 2 0 4 のうちの 1 つ又は 2 つ以上は、処置中に移動される医療ツール又は器具上に位置決めされてもよい。E M センサ 2 0 4 は、これらのツールの移動の追跡を可能にし得る。以下の例で説明するように、E M センサ 2 0 4 の移動が検出されると、E M 場発生器 3 0 2 の新しい位置を決定することができ、E M 場発生器 3 0 2 は、それが取り付けられたロボットアーム 2 1 2 を使用して移動させることができる。

【 0 1 6 1 】

図 3 2 A 及び図 3 2 B は、E M センサ 2 0 4 の移動の経路 3 8 8 を追跡する経路 3 9 0 に沿って、ロボットアーム 2 1 2 を用いて E M 場発生器 3 0 2 を移動させる例を示す斜視図である。このようにして、電磁場発生器 3 0 2 の経路 3 9 0 は、E M センサ 2 0 4 の経路 3 8 8 を追跡、追従、又はミラーリングする。図 3 2 A 及び図 3 2 B の例では、システムは、E M センサ 2 0 4 が経路 3 8 8 に沿って移動した場合に E M センサ 2 0 4 が所定の場所 3 8 4 (図示の例では、作業体積 3 0 6 の中心) に位置決めされたままとなるように E M 場発生器 3 0 2 の位置を維持するように構成される。

【 0 1 6 2 】

医療処置中、その上に位置決めされた E M センサ 2 0 4 を含む医療器具 (図 2 3 及び図 2 9 の医療器具 2 1 4 など) は、患者の解剖学的構造を通してナビゲートされ得る。E M センサ 2 0 4 (及び対応する器具 2 1 4) のこの運動は、経路 3 8 8 によって表される。図 3 2 A は、経路 3 8 8 に沿った第 1 の場所に位置決めされた E M センサ 2 0 4 を有するシステムを示している。E M 場発生器 3 0 2 が静止したままである間に、E M センサ 2 0 4 が経路 3 8 8 に沿って進み続ける場合、E M センサ 2 0 4 は、もはや作業体積 3 0 6 内の所定の位置 3 8 4 に位置決めされないことになる。E M センサ 2 0 4 を作業体積 3 0 6

内の所定の位置 3 8 4 に維持するために、E M 場発生器 3 0 2 は、対応する経路 3 9 0 に沿って移動する必要がある。このようにして、E M 場発生器 3 0 2 は、E M センサ 2 0 4 の移動を追跡又は追従する。図 3 2 B は、E M センサ 2 0 4 がその経路 3 8 8 に沿って移動した後のシステムを示している。E M 場発生器 3 0 2 も対応する経路 3 9 0 に沿って移動しているので、E M センサ 2 0 4 は、作業体積 3 0 6 内の所定の位置 3 8 4 に位置決めされたままである。これは、E M 場発生器 3 0 2 を、それが取り付けられているロボットアーム 2 1 2 とともに移動させることによって可能になる。

【 0 1 6 3 】

一部の実施形態では、E M 場発生器 3 0 2 による E M センサ 2 0 4 の追跡は、直接的な対応関係を有する必要はない。例えば、E M 場発生器 3 0 2 の経路 3 9 0 は、E M センサ 2 0 4 の経路 3 8 8 に直接対応する必要はない。図 3 3 A ~ 図 3 3 D は一例を示している。

10

【 0 1 6 4 】

図 3 3 A ~ 図 3 3 D は、経路 3 8 8 に沿って移動している E M センサ 2 0 4 が作業体積 3 0 6 の所定の領域 3 8 6 内に位置決めされたままとなるようにロボットアーム 2 1 2 を用いて E M 場発生器 3 0 2 を移動させる例を示す斜視図である。示されるように、この例では、E M 場発生器 3 0 2 は、E M センサ 2 0 4 の移動を追跡するが、E M センサ 2 0 4 の経路 3 8 8 に直接対応する経路に沿っては移動しない。本例では、システムは、E M センサ 2 0 4 が作業体積 3 0 6 の所定の領域 3 8 6 の境界又は外側に移動されると、E M 場発生器 3 0 2 の位置を調整するように構成される。例えば、プロセッサ 3 8 0 は、E M センサ 2 0 4 を含む医療器具 2 1 4 の移動中に E M センサ 2 0 4 が E M 場の作業体積 3 0 6 の所定の領域 3 8 6 内に位置決めされたままとなるように、第 1 のロボットアーム 2 1 2 を用いて E M 場発生器 3 0 2 の移動を命令するように構成され得る。

20

【 0 1 6 5 】

図 3 3 A は、第 1 の状態のシステムを示している。示されるように、E M センサ 2 0 4 は、作業体積 3 0 6 の所定の領域 3 8 6 内に位置決めされ、経路 3 8 8 に沿って進行する。図 3 3 B は、第 2 の状態にあるシステムを示している。示されるように、E M センサ 2 0 4 は、経路 2 0 4 に沿って進み続けているが、依然として、所定の領域 3 8 6 内に位置決めされている。E M センサ 2 0 4 はまだ所定の領域 3 8 6 内に位置決めされているので、E M 場発生器 3 0 2 はまだ移動していない。図 3 3 C は、E M センサ 2 0 4 が所定の領域 3 8 6 の縁部又は境界に達した第 3 の状態を示している。E M 場発生器 3 0 2 が静止したままである間に E M センサ 2 0 4 が経路 3 8 8 に沿って進み続ける場合、E M センサ 2 0 4 は所定の領域 3 8 6 の外側に移動することになる。E M センサ 2 0 4 を所定の領域 3 8 6 内に維持するために、E M 場発生器 3 0 2 は、図示される矢印の方向に移動する必要がある。この移動は、例えば、E M 場発生器 3 0 2 を移動させるようにロボットアーム 2 1 2 に命令することができるプロセッサ 3 8 0 によって決定することができる。図 3 3 D は、E M 場発生器 3 0 2 が移動された後の第 4 の状態にあるシステムを示している。示されるように、移動により、E M センサ 2 0 4 が経路 3 8 8 に沿って進み続けているときであっても、E M センサ 2 0 4 が所定の領域 3 8 6 内に再位置決めされるように、E M 場発生器 3 0 2 を再位置決めすることができる。このようにして、E M 場発生器 3 0 2 は、図 3 2 A 及び図 3 2 B の例のように E M 場発生器 3 0 2 の移動が E M センサ 2 0 4 の移動に直接対応しない場合であっても、E M センサ 2 0 4 の移動を追跡又は追従するように再び移動する。

30

40

【 0 1 6 6 】

図 3 4 は、ロボットアームに結合された E M 場発生器を、E M 場内の E M センサの決定された位置に基づいて移動させるための例示的な方法 4 0 0 を提供するフローチャートである。方法 4 0 0 は、例えば、プロセッサ 3 8 0 によって実行され、電磁場発生器の設定及び器具追跡を提供することができる。方法 4 0 0 は、第 1 のロボットアームに結合された E M 場発生器によって生成された E M 場の作業体積内の医療器具の E M センサの位置を決定することを含むブロック 4 0 1 で開始する。E M センサの位置は、E M 場発生器に関連付けられた E M 座標フレームに対して決定することができる。一部の実施形態では、E

50

Mセンサの位置は更に、上記で説明されるようなロボットアームの運動学に基づいて決定される位置合わせを適用することによって、第1のロボットアームと関連付けられたロボット座標フレームに対して決定され得る。

【0167】

方法400は、医療器具が移動されるブロック403を含む。医療器具の移動は、その上に位置決めされたEMセンサの対応する移動を引き起こす。一部の実施形態では、医療器具は、手動で制御される器具を備え、医療器具の移動は、手動で達成される。他の実施形態では、医療器具は、ロボット制御可能な器具を含む。例えば、医療器具は、第2のロボットアームに結合することができ、医療器具を移動させることは、第2のロボットアームを用いて器具を移動させることを含み得る。一部の実施形態では、第2のロボットアームを用いて器具を移動させることは、第2のロボットアームを関節運動させることを含む。医療器具は、器具駆動機構に結合され得、第2のロボットアームを用いて医療器具を移動させることは、器具駆動機構を用いて医療器具を作動させることを含み得る。器具の移動は、器具に取り付けられたEMセンサの位置が移動したことを判定することによって検出され得る。

10

【0168】

方法400は、ブロック405を含み、当該ブロック405は、医療器具の移動に応答して、EMセンサがEM場発生器の作業体積内に位置決めされたままとなるようにEM場発生器を移動させるように第1のロボットアームに命令することを含む。例えば、医療器具の移動により、EMセンサが作業体積の外側に移動した場合、EM場発生器は、第1のロボットアームを使用して再位置決めされ、EMセンサをEM場の作業体積内に維持することができる。

20

【0169】

一部の実施形態では、EM場発生器を移動させるように第1のロボットアームに命令することにより、EM場発生器が医療器具の移動を追跡する。例えば、EM場発生器を移動させるように第1のロボットアームに命令することは、図31A～図31B及び図33A～図33Dの例に示すように、EMセンサがEM場の作業体積の所定の領域内に位置決めされるか又は位置決めされたままとなるようにEM場発生器を移動させることを含み得る。別の例として、EM場発生器を移動させるように第1のロボットアームに命令することは、図30A～図30B及び図32A～図32Bの例に示すように、EMセンサがEM場の作業体積内の所定の位置に位置決めされるか又は位置決めされたままとなるようにEM場発生器を移動させることを含み得る。

30

【0170】

一部の実施形態では、方法400は、EM場内のEMセンサの向きを決定することと、EMセンサの決定された向きに基づいて、第1のロボットアームの移動を命令することによって、EM場発生器の向き及び位置のうちの少なくとも1つを調整することとを任意選択で含み得る。上述したように、EM場の向き及び位置のうちの少なくとも1つを調整することにより、EM場の作業体積内のEMセンサの決定された位置の精度を高めることができる。

【0171】

加えて、方法400は、EMセンサを継続的に追跡し、それに応じてEM場発生器の位置を調整するために、破線407によって示されるようなループとして実行され得る。すなわち、複数の離散時間ステップにおいて、EMセンサの位置を決定することができ、新たに決定された各位置に基づいてEM場発生器を再調整することができる。

40

【0172】

上で提供された例は、図23及び図29に示されるシステム300などのロボットシステムが、ロボットアーム312を使用してEM場発生器302を移動させて、1つのEMセンサ204に対してEM場発生器302を設定し、かつ/又は1つのEMセンサ204の移動を追跡するように構成され得ることを示している。しかしながら、システム300は、1つのEMセンサ204を有する実施形態に限定されない。例えば、プロセッサ38

50

0 は、E M場内の複数のE Mセンサ2 0 4の位置を決定し、複数のE Mセンサ2 0 4の決定された位置に基づいてE M場発生器3 0 2の発生器位置を決定し、E M場発生器3 0 2を発生器位置に移動させるように第1のロボットアーム2 1 2に命令するように構成され得る。すなわち、システム3 0 0は、複数のE Mセンサ2 0 4に基づいて、E M場発生器を設定し、追跡を行うように構成され得る。複数のE Mセンサ2 0 4に基づいて使用する例が、図3 5 A～図3 7 に関して提供される。

【0 1 7 3】

図3 5 A及び図3 5 Bは、E M場内の複数のE Mセンサ2 0 4の決定された位置に基づいて、ロボットアーム2 1 2を使用してE M場発生器3 0 2を電磁場発生器位置に移動させる例を示す斜視図である。先の例と同様の一部の方法において、これは、電磁場発生器の設定中に行うことができ、E M場発生器3 0 2を複数のE Mセンサ2 0 4に対して位置決めするために有利に使用することができる。

10

【0 1 7 4】

図3 5 Aは、第1の状態のシステムを示している。示されるように、第1の状態では、複数のE Mセンサ2 0 4は、E M場発生器3 0 2の作業体積3 0 6内に位置決めされる。しかしながら、図示のように、複数のE Mセンサ2 0 4は、作業体積3 0 6内の中心に置かれていない。複数のE Mセンサ2 0 4を作業体積3 0 6内の中心に置くために、電磁場発生器位置3 9 2を決定することができる。電磁場発生器位置3 9 2は、複数のE Mセンサ2 0 4を作業体積内の中心に置くためにE M場発生器3 0 2を移動させ得る位置を表すことができる。図示の実施形態では、発生器位置3 9 2はxとして表される。E M場発生器3 0 2は、発生器位置3 9 2に到達するために、図示の矢印の方向に移動する必要がある、これは作業体積3 0 6の対応する移動を引き起こす。

20

【0 1 7 5】

発生器位置3 9 2は、複数のE Mセンサ3 0 2の決定された位置に基づいて決定することができる。一例では、プロセッサ3 8 0は、複数のE Mセンサ2 0 4の決定された位置の重心を決定することに基づいて、発生器位置3 9 2を決定するように構成される。次いで、複数のE Mセンサ2 0 4の位置の重心が作業体積3 0 6内の所定の位置（中心又は他の所望の位置など）に位置決めされるように、E M場発生器3 0 2が移動される位置を見出すことによって、発生器位置3 9 2が決定され得る。上述したように、複数のE Mセンサの決定された位置は、E M場発生器3 0 2が取り付けられるロボットアーム2 1 2の運動学に基づいて、前述の位置合わせを使用して、ロボット座標フレームにマッピングされ得る。

30

【0 1 7 6】

図3 5 Bは、E M場発生器3 0 2の位置を発生器位置3 9 2に調整した後の第2の状態にあるシステムを示している。示されるように、複数のE Mセンサ2 0 4は、ここでは、作業体積2 0 6の中心により近接して位置決めされている。したがって、システムは、複数のE Mセンサ2 0 4に対するE M場発生器3 0 2の設定及び位置決めを容易にすることができる。この例は、複数のE Mセンサ2 0 4を作業体積3 0 6内の「中心に置く」ことについて説明しているが、発生器位置3 9 2は、作業体積3 0 6内の他の場所に複数のE Mセンサを位置決めするように決定され得る。

40

【0 1 7 7】

図3 6 A、図3 6 B、及び図3 6 Cは、作業体積3 0 6内の複数のE Mセンサ2 0 4の決定された位置に基づいて、ロボットアーム2 1 2を使用して、E M場発生器3 0 2の電磁場発生器位置3 9 2を再調整する例を示す斜視図であり、複数のE Mセンサ2 0 4のうちの少なくとも1つは移動している。例えば、プロセッサ3 8 0は、E Mセンサ2 0 4のうちの少なくとも1つの移動を検出し、検出された移動に基づいてE M場発生器3 0 2の新しい発生器位置3 9 2を決定し、E M場発生器3 0 2を新しい発生器位置3 9 2に移動させるように第1のロボットアーム2 1 2に命令するように構成され得る。

【0 1 7 8】

図3 6 Aに示すように、E Mセンサ2 0 4のうちの1つが経路3 8 8に沿って移動して

50

いる。電磁場発生器 302 の位置を、この移動に基づいて調整することが望ましい場合がある。例えば、調整されない場合、EM センサ 204 は、経路に沿って、作業体積 306 の外側にある場所に移動し得、その時点で、EM センサ 204 の追跡が失われる。

【0179】

したがって、図 36B に示すように、新しい電磁場発生器位置 392 は、複数の EM センサ 204 の位置に基づいて、かつ経路 388 に沿った 1 つの EM センサ 204 の移動を考慮して決定され得る。新しい電磁場発生器位置 392 は、例えば、複数の EM センサ 204 の位置の現在の重心に基づき得る。示されるように、EM 場発生器 302 は、新しい発生器位置 392 に到達するために、図示される矢印の方向に移動する必要がある。図 36C は、新たな電磁場発生器位置 392 への移動後のシステムを示している。示されるように、複数の EM センサ 204 の位置は、ここで、作業体積 306 内で再び中心に置かれる。これは、有利には、複数の EM センサ 204 の位置が、それらが互いから離れて移動するときであっても、可能な限り長く作業体積 306 内に位置決めされたままとなるように、EM 場発生器 302 の位置が、作業体積 306 の位置を最適化するように継続的に調整されることを可能にし得る。

10

【0180】

図 37 は、EM 場内の複数の EM センサの決定された位置に基づいて、ロボットアームに搭載され EM 場発生器の電磁場発生器位置を決定するための例示的な方法 410 を示すフローチャートである。方法 410 は、第 1 のロボットアームに結合された EM 場発生器を用いて EM 場を発生させることを含むブロック 411 で始まる。

20

【0181】

方法 410 のブロック 413 において、実施形態は、EM 場内の複数の EM センサの位置を決定することができる。これは、EM 場発生器に関連付けられた EM 座標フレームに対する EM 場内の複数の EM センサの位置を決定することと、EM 座標フレームと第 1 のロボットアームに関連付けられたロボット座標フレームとの間の位置合わせを、ロボット座標フレーム内の EM 場発生器の位置を決定することに基づいて決定することと、位置合わせに基づいて、ロボット座標フレーム内の複数の EM センサの位置を決定することによって達成され得る。ロボット座標フレーム内の EM 場発生器の位置の決定は、第 1 のロボットアームの運動学に基づき得る。

【0182】

30

ブロック 415 において、方法 410 は、EM 場発生器の発生器位置を、複数の EM センサの決定された位置に基づいて決定することを含む。発生器位置を決定することは、複数の EM センサ 204 の位置の重心を決定することに基づき得る。EM 場発生器位置は、EM 場の作業体積内に複数の EM センサを望ましく位置決めすることになる、EM 場発生器が移動され得る位置であり得る。

【0183】

ブロック 417 は、EM 場発生器を発生器位置に移動させるように第 1 のロボットアームに命令することを含む。例えば、システムは、第 1 のロボットアームを使用して、EM 場発生器を発生器位置に移動させることができる。EM 場発生器が移動されると、作業体積の位置は、それに対応して、EM センサの位置に対して再位置決めされる。

40

【0184】

破線 419 によって示されるように、方法 410 は、図 36A ~ 図 36C を参照して上述したように、EM 場発生器の位置を連続的に調整するためのループとして実行され得る。例えば、方法 410 はまた、複数の EM センサのうちの少なくとも 1 つの移動を検出することと、検出された移動に基づいて EM 場発生器の新しい発生器位置を決定することと、EM 場発生器を新しい発生器位置に移動させるように第 1 のロボットアームに命令することとを含み得る。

【0185】

i i . 拡張された作業体積を伴う電磁場発生器設定及び器具追跡

前のセクションでは、電磁場発生器の設定及び器具の追跡を容易にするためにシステム

50

のロボットアームとともに移動させ得るロボット制御可能な電磁場発生器を含むロボット医療システムについて説明した。例のうちの一部では、E M場発生器は、E Mセンサを追跡するために、例えば、E M場発生器によって発生されるE M場の作業体積内に移動E Mセンサを保つために、ロボットアームとともに移動され得ることが示された。E M場発生器、及びそれに対応してそのE M場の作業体積を移動させることによって、本明細書に説明されるシステムは、「拡張された」作業体積を有すると見なすことができる。すなわち、E M場発生器及び作業体積を再位置決めすることによって、E Mセンサの位置は、静止電磁場発生器の作業体積より大きい面積にわたって検出及び決定され得る。

【0186】

本セクションは、ロボットアームを用いてE M場発生器を移動させることによってE M場発生器の作業体積を「拡張する」という概念について詳述するための追加の例を提供する。特に、例は、とりわけ、E M場発生器の作業体積内に同時に収まるには離れすぎているE Mセンサを、E M場発生器を移動させ、E Mセンサの位置を検出し、E Mセンサの検出された位置をロボット座標フレームにマッピングすることによって、どのように追跡することができるかを示している。これは、E Mセンサが静止作業体積の外側に移動するとE Mセンサの「追跡を失う」場合がある静止電磁場発生器を利用した従来のシステムに優る有意な利点を提供する。本セクションにおける例は、図23及び図29の例示的なシステム300を参照しているが、ロボット制御可能な電磁場発生器を含む他のシステムを用いて実施されてもよい。

【0187】

ここで、システム300がどのようにE M場発生器302の作業体積306を拡張するかを示すために、異なる段階におけるシステム300を示す図38A～38Cを参照して、第1の例が説明される。第1の段階におけるシステムの一部の構成要素を示す図38Aに示すように、システムは、前述したように、その中でE Mセンサ204の位置がE M座標フレーム308に対して決定され得る作業体積306を有するE M場を発生させるように構成されたE M場発生器302を含む。E M場発生器302は、E M場発生器302の位置を調整するために移動するように構成されたロボットアーム212に結合される。ロボットアーム212がE M場発生器302を移動させると、E M場発生器302の作業体積306の位置も移動する。

【0188】

図38Aはまた、2つのE Mセンサ204A及び204Bを示している。示されるように、第1の段階では、2つのE Mセンサ204A、204Bのいずれも、電磁場発生器302の作業体積306内に位置決めされておらず、したがって、E Mセンサ204A、204Bの位置は、第1の段階では決定可能ではない。更に、2つのE Mセンサ204A、204Bは、両方が同時に作業体積306内に位置決めされ得ないほど十分に離れて位置決めされている。したがって、図38B及び図38Cに示すように、E Mセンサ204A、204Bの位置を追跡するために、E M場発生器302は、ロボットアーム212を使用して、E Mセンサ204A、204Bの各々が決定され、E M場発生器の作業体積306を「拡張」するためにロボット座標フレーム216にマッピングされ得る異なる位置に移動され得る。

【0189】

例えば、E M場発生器302及びE M場発生器302が取り付けられたロボットアーム212と通信するシステム300のプロセッサ380は、E Mセンサ204が作業体積306内に位置決めされる第1の位置にE M場発生器302を移動させるように構成することができる。E M場発生器302が第1の位置にある状態で、プロセッサ380は、E M座標フレーム308に対する作業体積306内の第1のE Mセンサ204Aの位置を決定し、E M場発生器302が第1の位置にある状態でのロボットアームの運動学に基づいて、第1のE Mセンサ204Aの位置をロボット座標フレーム216にマッピングすることができる。プロセッサ380は、次いで、ロボットアーム212に、第2のE Mセンサ204Bが作業体積内に位置決めされる第2の位置にE M場発生器302を移動させること

ができる。また、E M場発生器 3 0 2 が第 2 の位置にある状態で、プロセッサ 3 8 0 は、E M座標フレーム 3 0 8 に対する作業体積 3 0 6 内の第 2 の E Mセンサ 2 0 4 B の位置を決定し、E M場発生器 3 0 2 が第 2 の位置にある状態でのロボットアーム 2 1 2 の運動学に基づいて、第 2 の E Mセンサ 2 0 4 B の位置をロボット座標フレーム 2 1 6 にマッピングすることができる。このようにして、両方の E Mセンサ 2 0 4 A、2 0 4 B の位置をロボット座標フレーム 2 1 6 内に提示することができる。

【 0 1 9 0 】

図 3 8 B は、例示的な第 2 の段階におけるシステムを示し、E M場発生器 3 0 2 は、ロボットアーム 2 1 2 とともに、第 1 の E Mセンサ 2 0 4 A が作業体積 3 0 6 内に位置決めされる第 1 の位置に移動されている。E M場発生器 3 0 2 がこの位置にある状態で、E Mセンサ 2 0 4 A の位置は、E M座標フレーム 3 0 8 に対して決定され得、次いで、その位置は、前述したロボットアーム 2 1 2 の運動学に基づく位置合わせを使用して、ロボット座標フレーム 2 1 6 にマッピングされ得る。図 3 8 B では、E Mセンサ 2 0 4 A は、その位置が、最初に E M座標フレーム 3 0 8 内で決定されたが、ロボット座標フレーム 2 1 6 にマッピングされたことを示すために、黒色で陰影が付けられている。

10

【 0 1 9 1 】

図 3 8 C は、例示的な第 3 の段階におけるシステムを示し、E M場発生器 3 0 2 は、ロボットアーム 2 1 2 とともに、第 2 の E Mセンサ 2 0 4 B が作業体積 3 0 6 内に位置決めされる第 2 の位置に移動されている。E M場発生器 3 0 2 がこの位置にある状態で、E Mセンサ 2 0 4 B の位置は、E M座標フレーム 3 0 8 に対して決定され得、次いで、その位置は、前述したロボットアーム 2 1 2 の運動学に基づく位置合わせを使用して、ロボット座標フレーム 2 1 6 にマッピングされ得る。先と同様に、E Mセンサ 2 0 4 B は、その位置がロボット座標フレーム 2 1 6 にマッピングされたことを示すために、黒色の陰影が付けられている。E Mセンサ 2 0 4 A もまた、ロボット座標フレーム 2 1 6 内のその位置を示すために、依然として黒色の陰影が付けられている。

20

【 0 1 9 2 】

図 3 8 C を考慮すると、E Mセンサ 2 0 4 A、2 0 4 B は、両方が同時に E M場発生器 3 0 2 の作業体積 3 0 6 内に収まることができないほど十分に離れて離隔しているが、両方の E Mセンサ 2 0 4 A、2 0 4 B の位置は、ロボット座標フレーム 2 1 6 内に同時に又は実質的に同時発生的に表されることが分かる。一部の実施形態では、プロセッサ 3 8 0 は、E M場発生器 3 0 2 を第 1 の位置と第 2 の位置との間で前後に移動させて、第 1 の E Mセンサ 2 0 4 A 及び第 2 の E Mセンサ 2 0 4 B の位置を頻繁に（例えば、約 4 0 H z で、又はより小さい時間ステップと、より大きい時間ステップの両方で）更新し、追跡するように更に構成される。

30

【 0 1 9 3 】

更に、図 3 8 A ~ 3 8 C を参照して説明される例は、第 1 の位置（図 3 8 B）及び第 2 の位置（図 3 8 C）にある E M場発生器 3 0 2 を単純化して説明するように提示されている。実際には、システムは、連続的又はほぼ連続的に、E M場内に位置決めされた任意の E Mセンサ 2 0 4 を検出し、それらの位置をロボット座標フレーム 2 1 6 にマッピングするように構成され得る。例えば、プロセッサ 3 8 0 は、ロボットアーム 2 1 2 を使用して E M場発生器 3 0 2 を移動させるように構成されることができ、E Mセンサが作業体積 3 0 6 内で検出されると、プロセッサ 3 8 0 は、（ i ） E M座標フレーム 3 0 8 に対する作業体積 3 0 6 内の E Mセンサ 2 0 4 の位置を決定することと、（ i i ）第 1 のロボットアーム 2 1 2 の運動学的姿勢に基づいて、E Mセンサ 2 0 4 の位置をロボット座標フレーム 2 1 6 にマッピングすることと、を行うように構成され得る。

40

【 0 1 9 4 】

一部の例では、E Mセンサ 2 0 4 の初期位置は既知でなくてもよい。E Mセンサ 2 0 4 の位置を特定するために、システムは、ロボットアーム 2 1 2 を使用して、探索経路又は軌道に沿って（例えば、所定の経路 / パターン又は運動範囲に沿って）E M場発生器 3 0 2 を移動させるように構成されることができ、探索経路は、作業体積 3 0 6 より大きい

50

治療体積を通して作業体積 306 を掃引し、治療体積内の EM センサの位置を特定するように構成され得る。治療体積を通して掃引することによって、治療体積内の任意の EM センサ 204 の初期位置が決定され得る。

【0195】

図 39A ~ 図 39D は、EM センサ 204 の位置を検出するために探索経路 510 に沿ってロボットアーム 212 とともに移動させることができるロボット制御可能な電磁場発生器 302 を含むロボット医療システムの一実施形態を示している。図 39A の例では、2 つの EM センサ 204A、204B の初期位置は既知ではない。EM センサ 204A、204B の位置を特定するために、図 39A は、EM 場発生器 302 がロボットアーム 212 を使用してそれに沿って移動する例示的な探索経路 510 を示している。図示の実施形態では、探索経路 510 は、EM センサ 204 が予測される治療体積又は治療部位を横断して作業体積 306 を掃引するように構成された略正弦波経路を備える。図 39A に示される探索経路 510 は、例として提供されており、異なる形状を含む任意の数の経路が可能である。

10

【0196】

図 39B は、EM 場発生器 302 が探索経路 510 に沿って移動した場合の第 2 の段階におけるシステムを示している。図 39B に図示される第 2 の段階では、第 1 の EM センサ 204A は、ここで、EM 場発生器 302 の作業体積 306 内に位置決めされ、検出可能である。EM センサ 204A の位置は、EM 座標フレーム 308 に対して決定することができ、次いで、その位置は、前述のロボットアーム 212 の運動学に基づく位置合わせを使用して、ロボット座標フレーム 216 にマッピングすることができる。図 39B では、EM センサ 204A は、その位置が、最初に EM 座標フレーム 308 内で決定されたが、ロボット座標フレーム 216 にマッピングされたことを示すために、黒色で陰影を付けられている。EM 場発生器 302 は、探索経路 510 に沿って進むことができる。

20

【0197】

図 39C は、EM 場発生器 302 が探索経路 510 に沿って更に移動した場合の第 3 の段階におけるシステムを示している。図 39C に図示される第 3 の段階では、第 2 の EM センサ 204B は、ここで、EM 場発生器 302 の作業体積 306 内に位置決めされ、検出可能である。EM センサ 204B の位置は、EM 座標フレーム 308 に対して決定することができ、次いで、その位置は、前述のロボットアーム 212 の運動学に基づく位置合わせを使用して、ロボット座標フレーム 216 にマッピングすることができる。図 39B では、EM センサ 204B は、ロボット座標フレーム 216 にマッピングされたことを示すために、黒色で陰影が付けられている。EM 場発生器 302 は、探索経路 510 に沿って進むことができる。EM センサ 204A の位置もまた、その位置がロボット座標フレームにマッピングされたことを表すために、黒色で陰影を付けて示されている。

30

【0198】

図 39D は、EM 場発生器 302 が探索経路 510 を完了した第 4 の段階におけるシステムを示している。図示のように、全ての EM センサ 204 (図示の例では、EM センサ 204A、204B) の位置が特定され、ロボット座標フレーム 216 にマッピングされている。一部の実施形態では、システムは、EM センサ 204 の位置を特定するために、処置の開始時に探索経路 510 を追従するように構成される。探索経路 510 は、任意の新しい EM センサ 204 が導入されたかどうかを判定するために周期的に繰り返すことができる。

40

【0199】

一部の実施形態では、EM センサ 204 の初期位置は、別の方法で決定することができる。例えば、EM センサ 204 がロボット制御可能な器具上に含まれる場合、システムは、ロボットの運動学に基づいて、EM センサ 204 の初期位置を推定又は決定することができる。システムのロボット構成要素に結合されていない EM センサ 204 の場合、一部の実施形態では、ユーザは、(例えば、ユーザ入力デバイス、コントローラ、グラフィカルユーザインターフェースなどを介して) EM センサ 204 の初期位置をシステムに指示

50

又は入力することができる。例えば、呼吸を追跡するために患者の胸部上に配置された E M パッチセンサの場合、E M パッチセンサを配置するユーザは、パッチセンサがどこに配置されたかをシステムに示すことができる。

【 0 2 0 0 】

上述したように、一部の例では、ロボット座標フレーム 2 1 6 にマッピングされた E M センサ 2 0 4 の位置は、センサのライブ位置を表さなくてもよい。したがって、E M センサの初期位置が決定された後、システムは、E M センサ 2 0 4 の位置の追跡を継続するために E M 場発生器 3 0 2 を移動させ得る新しい追跡経路を決定することができる。追跡経路は、例えば、探索経路よりも短くてもよく、これは、E M センサ 2 0 4 の位置のより高速又はより頻繁な再マッピングを可能にし得る。一例が、図 4 0 A ~ 図 4 0 D を参照して説明される。

10

【 0 2 0 1 】

図 4 0 A ~ 図 4 0 D は、図 3 9 A ~ 図 3 9 D の例を継続し、E M 場発生器 3 0 2 のための例示的な追跡経路 5 1 2 を更に示している。追跡経路 5 1 2 は、ロボット座標フレーム 2 1 6 内の E M センサ 2 0 4 の決定された位置に基づいて決定することができる。例えば、追跡経路 5 1 2 は、E M 場発生器 3 0 2 が、ロボット座標フレーム 2 1 6 内の E M センサ 2 0 4 の決定された位置の間で前後に移動され、その結果、位置が頻繁に再マッピングされ、頻繁に更新され得るように決定され得る。例えば、E M 場発生器 3 0 2 が、ロボットアーム 2 1 2 を使用して追跡経路に沿って移動されると、プロセッサ 3 8 0 は、(i) E M 座標フレーム 2 1 6 に対する作業体積 3 0 6 内の E M センサ 2 0 4 の位置を再決定することと、(i i) ロボットアーム 2 1 2 の運動学的姿勢に基づいて、E M センサ 2 0 4 の位置をロボット座標フレーム 3 0 8 に再マッピングすることと、(i i i) 更新された追跡経路 5 1 0 を決定することと、を行うように構成され得る。

20

【 0 2 0 2 】

図 4 0 A に示すように、追跡経路 5 1 2 は、(図 3 9 A ~ 図 3 9 D の) 探索経路 5 1 0 よりも短くすることができる。これは、E M 場発生器の不必要な移動 (空間内の他の物体との衝突を引き起こす可能性がある) を制限することができ、E M センサが作業体積 3 0 6 内に位置決めされない時間を制限するので、有利であり得る。図示の実施形態では、追跡経路 5 1 2 は、E M センサ 2 0 4 A、2 0 4 B の各々が作業体積 3 0 6 内で検出され、ロボット座標フレーム 2 1 6 に再マッピングされ得る位置の間で E M 場発生器 3 0 2 を前後に移動させる線を含む。追跡経路 5 1 2 の他の形状も可能である。

30

【 0 2 0 3 】

図 4 0 A は、第 1 の E M センサ 2 0 4 A が作業体積 3 0 6 内に位置決めされる追跡経路 5 1 2 の第 1 の端部に位置決めされた E M 場発生器 3 0 2 を示している。この位置において、第 1 の E M センサ 2 0 4 A の位置は、E M 座標フレーム 3 0 8 に対して検出され、ロボット座標フレーム 2 1 6 に再マッピングされ得る。図 4 0 B は、第 2 の E M センサ 2 0 4 B が作業体積 3 0 6 内に位置決めされる追跡経路 5 1 2 の第 2 の端部に位置決めされた E M 場発生器 3 0 2 を示している。この位置において、第 2 の E M センサ 2 0 4 B の位置は、E M 座標フレーム 3 0 8 に対して検出され、ロボット座標フレーム 2 1 6 に再マッピングされ得る。図 4 0 A 及び図 4 0 B では、E M センサ 2 0 4 A、2 0 4 B は、(例えば、図 3 9 A ~ 図 3 9 D の先の例で説明したように、E M 場発生器 3 0 2 が探索経路 5 1 0 に沿って移動したときに検出されたときに) それらの位置がロボット座標フレーム 2 1 6 にマッピングされたことを表すために、黒色の陰影が付けられている。

40

【 0 2 0 4 】

図 4 0 C は、ロボット座標フレームにマッピングされた E M センサ 2 0 4 A の位置がどうしてライブではない可能性があるのかを示している。例えば、図 4 0 C に示すように、第 1 の E M センサ 2 0 4 A が作業体積 3 0 6 内に位置決めされないように E M 場発生器 3 0 2 が追跡経路 5 1 2 の第 2 の端部に位置決めされる間に、第 1 の E M センサ 2 0 4 A は、E M センサ 2 0 4 A ' として示される新しい位置に移動され得る。注目すべきことに、E M センサ 2 0 4 A の先にマッピングされた位置が依然として示されている (黒色で陰影が

50

付けられている)。この位置では、システムは、EMセンサ204AがEMセンサ204A'の新しい位置に移動したことをまだ判定していない。一部の実施形態では、各センサ204は、システムがセンサを特定し、区別することができるように、システムの専用ポートに接続される。センサを区別するための他の機構及び方法も同様に可能である。

【0205】

しかしながら、図40Dは、EM場発生器302が追跡経路512に沿って戻ると、EMセンサ204A'の新しい位置を検出することができることを示している。この位置では、第1のEMセンサ204A'の新しい位置が、EM座標フレーム308に対して検出され、ロボット座標フレーム216に再マッピングされ得る。EMセンサ204A'の新しい位置がロボット座標フレーム216に再マッピングされたことを示すために、図40DではEMセンサ204A'に黒色の陰影が付けられている。

10

【0206】

図40Dはまた、新しい追跡経路512'が、EMセンサ204A'の新しい位置に基づいて決定され得ることを示している。したがって、EMセンサ204が移動するにつれて、EMセンサ204の新しい位置をロボット座標フレーム216に再マッピングすることができ、更新された追跡経路512'を決定することができる。このプロセスは、処置全体を通して繰り返すことができ、ロボットアーム212を用いてEM場発生器302を移動させ、ロボットアーム212の運動学的姿勢に基づいて、検出されたEMセンサ204の位置をロボット座標フレームにマッピングすることによって可能になる、拡張された作業体積内の種々のEMセンサ204の追跡を有益に可能にする。

20

【0207】

図41Aは、ロボット制御可能な電磁場発生器の作業体積を拡張するための例示的な方法600を示すフローチャートである。方法600は、例えば、図38A～図38Cを参照しながら上述した機能を実施するために使用され得る。方法600は、EM場発生器が第1の位置に移動されるブロック601で開始する。第1の位置は、EMセンサがEM場発生器の作業体積内で検出される位置であり得る。EM場発生器は、それが取り付けられるロボットアームを使用して移動させることができる。一部の実施形態では、EM場発生器を第1の位置に移動させることは、EM場発生器を探索経路又は追跡経路に沿って移動させることを含む。

【0208】

30

方法はブロック602に進む。ブロック602において、第1のEMセンサの位置が、EM座標フレームに対して決定される。EM座標フレームは、EM場発生器のEM場に関連付けられる。次に、ブロック603において、(ブロック602において決定された)EM座標フレーム内のEMセンサの位置が、ロボット座標フレームにマッピングされる。ロボット座標フレームは、例えば、EM場発生器が結合されるロボットアーム、及びシステムの他のロボット構成要素に関連付けられる。EMセンサの位置をロボット座標フレームにマッピングすることは、第1のロボットアームの運動学的姿勢に基づくことができ、これは、上述したように、EM場発生器がロボットアームに結合されるので、EM座標フレームとロボット座標フレームとの間の関係を確立する。

【0209】

40

次いで、方法600は、ブロック604に進むことができる。ブロック604において、EM場発生器は、第2のEMセンサが作業体積内で検出される第2の位置に移動される。上述したように、EM場発生器は、それが取り付けられるロボットアームを使用して第2の位置に移動され得る。ブロック605において、第2のEMセンサの位置が、EM座標フレームに対して決定され得る。次に、ブロック606において、(ブロック605において決定された)EM座標フレーム内の第2のEMセンサの位置が、再びロボットアームの運動学に基づく位置合わせを使用して、ロボット座標フレームにマッピングされる。最後に、ライン607は、方法600が、第1のEMセンサ及び第2のEMセンサの位置を連続的に再検出し、ロボット座標フレームに再マッピングするためのループとして実行され得ることを示している。

50

【 0 2 1 0 】

図 4 1 B は、ロボット制御可能な電磁場発生器の作業体積を拡張するための別の例示的な方法 6 1 0 を示すフローチャートである。方法 6 1 0 は、E M 場発生器を、それが取り付けられたロボットアームとともに移動させることを含むブロック 6 1 1 で開始する。ブロック 6 1 2 において、E M センサが E M 場発生器の作業体積内で検出される場合はいつでも、E M センサの位置は、E M 座標フレームに対して決定され得る。ブロック 6 1 3 において、E M センサの位置をロボット座標フレームにマッピングすることができる。マッピングは、上述したように、ロボットアームの運動学に基づき得る。最後に、ライン 6 1 4 は、方法 6 1 0 が、第 1 の E M センサ及び第 2 の E M センサの位置を連続的に再検出し、ロボット座標フレームに再マッピングするためのループとして実行され得ることを示している。

10

【 0 2 1 1 】

i i i . 経皮的に挿入可能な器具と E M ターゲットとの整合

ロボット制御可能な E M 場発生器 3 0 2 はまた、経皮的に挿入されたツールと体内に内視鏡的に挿入された他のツールとの整合を容易にすることができる。例えば、図 2 7 B に示すように、尿管鏡 5 0 2 は、腎臓内の位置に内視鏡的に誘導され得る。次いで、オペレータは、尿管鏡 5 0 2 とランデブーするように、針（又は他の器具）の経皮的挿入を行うか、又は針（又は他の器具）を用いて経皮的挿入を行うことを望む場合がある。一部の実施形態では、E M 場発生器 3 0 2 は、針（又は他の器具）を通して挿入することができる針ガイド（例えば、チャンネル、チューブ、又は他の構造）を含み得る。他の実施形態では、E M 場発生器 3 0 2 は、そこを通して針ガイド又は同等物が前進及び／又は位置決めされ得る空間を画定することができる。例えば、針ガイドは、そこを通して挿入される針に対して 1 つのみの自由度（挿入及び／又は後退）を可能にするように構成され得る。E M 場発生器 3 0 2 は、ニードルがニードルガイドを通して挿入されるときに E M センサ 2 0 4 に向かって直接誘導されるように、尿管鏡上の E M センサ 2 0 4 と整合され得る。1 つのかかる使用例は、内部器官又は他の組織へのアクセスが皮膚の針穿刺を介して行われる、経皮的処置である。ロボットエンドエフェクタに堅固に取り付けられ、ロボットエンドエフェクタに対する既知の変換（剛体定義）を有する針は、したがって、患者の体内の E M ビーコン（ターゲット）とロボット制御で整合され得る。針は、次いで、ロボット制御で整合された軌道に沿って、皮膚を通して挿入され得る。

20

30

【 0 2 1 2 】

図 4 2 A ~ 図 4 2 C は、経皮的に挿入可能な器具 2 1 4 と E M ターゲット 2 0 4 A との整合を容易にするように構成されたロボット制御可能な電磁場発生器 3 0 2 を有する、図 2 3 及び図 2 9 のシステム 3 0 0 などのロボット医療システムの一実施形態を示している。経皮的に挿入可能な器具 2 1 4 は、例えば、針、アクセスシース、腹腔鏡器具、又は他のタイプの経皮的に挿入可能な器具を含み得る。図 4 2 A ~ 図 4 2 C の例では、経皮的に挿入可能な器具 2 1 4 を体内の特定の場所に正確に挿入することが望ましい場合がある。経皮的挿入を容易にするために、E M ターゲット 2 0 4 A（E M センサとすることができる）を、経皮的に挿入可能な器具 2 1 4 のための所望の位置で体内に配置することができる。一部の実施形態では、経皮的に挿入可能な器具 2 1 4 はまた、その上に位置決めされた E M センサ 2 0 4 B を含み得る。

40

【 0 2 1 3 】

図 4 2 A の図示の実施形態では、経皮的に挿入可能な器具 2 1 4 は、ロボット制御可能な器具であり得る。経皮的に挿入可能な器具 2 1 4 は、経皮的に挿入可能な器具 2 1 4 を位置決めして挿入するように構成された第 2 のロボットアーム 2 1 2 B に取り付けられて示されている。図示のように、経皮的に挿入可能な器具 2 1 4 は、軸 5 0 2 に沿って延在している。概して、経皮的に挿入可能な器具 2 1 4 は、軸 5 0 2 に沿って挿入されることが望ましい。しかしながら、経皮的に挿入可能な器具 2 1 4 を正確に挿入するために、軸 5 0 2 を E M ターゲット 2 0 4 A と整合させる必要がある。

【 0 2 1 4 】

50

したがって、システムのプロセッサ 380 は、EM 場発生器 302 が取り付けられた第 1 のロボットアーム 212 A の運動学的姿勢に基づいて、EM 場発生器 302 に関連付けられた EM 座標フレーム内の位置をロボット座標フレーム 216 内の位置にマッピングする位置合わせを決定するように構成され得る。プロセッサ 380 は、位置合わせに基づいて、ロボット座標フレーム 216 内の EM ターゲット 204 A の位置を決定するように更に構成され得、ロボット座標フレーム 216 内の EM ターゲット 204 A の位置に基づいて、プロセッサは、第 2 のロボットアーム 212 B を移動させて、経皮的に挿入可能な器具 214 の軸 502 を EM ターゲットと整合させるように構成され得る。最後に、プロセッサ 380 は、第 2 のロボットアーム 212 B を使用して、経皮的に挿入可能な器具 214 を軸 502 に沿って EM ターゲット 204 A に向かって挿入するように構成され得る。

10

【0215】

上述したように、位置合わせは、ロボット座標フレーム 216 内の EM 場発生器 302 の位置に基づいて決定することができ、ロボット座標フレーム 216 を有する EM 場発生器の位置は、第 1 のロボットアーム 212 A の運動学的姿勢に基づいて決定することができる。プロセッサ 380 は、EM 座標フレーム 308 内の EM ターゲット 204 A の位置を決定し、位置合わせを使用して、EM 座標フレーム 308 内の EM ターゲット 204 A の位置をロボット座標フレーム 216 内の EM ターゲット 204 A の位置にマッピングすることによって、ロボット座標フレーム 216 内の EM ターゲット 204 A の位置を決定するように更に構成され得る。

【0216】

20

一部の実施形態では、EM ターゲット 204 A は、身体を通してナビゲートされる内視鏡などの、患者に挿入されるように構成された別のロボット医療器具上に位置決めされた EM センサであり得る。このロボット医療器具は、ロボット医療器具を制御するように構成された第 3 のロボットアームに結合され得る。

【0217】

図 42 A は、経皮的に挿入可能な器具 214 の軸 502 が EM ターゲット 204 A と整合されていない第 1 の状態にあるシステムを示している。図 42 B は、軸 502 を EM ターゲット 204 A と整合した後の第 2 の状態にあるシステムを示している。図 42 C は、軸 502 に沿った経皮的に挿入可能な器具 214 の挿入及び EM ターゲット 204 A とのランデブーを示す、第 3 の状態にあるシステムを示している。

30

【0218】

図 43 A 及び図 43 B は、図 23 及び図 29 のシステム 300 などのロボット医療システムの一実施形態を示しており、ロボット制御可能な電磁場発生器 302 は、電磁場発生器 302 上に搭載された器具ガイド 520 と、EM ターゲット 204 A との整合を容易にするように構成される。器具ガイド 520 は、経皮的に挿入可能な器具が、患者への挿入中に軸 522 に沿って内部を通して挿入され得るように構成され得る。器具ガイド 520 は、経皮的に挿入可能な器具の運動を軸 522 に沿った運動のみに制限することができ、その結果、軸 522 が EM ターゲット 204 と整合されたときに、経皮的に挿入可能な器具を EM ターゲット 204 に向かって誘導することができる。一部の実施形態では、器具ガイド 520 は、EM 場発生器 302 に取り外し可能に結合される。他の実施形態では、器具ガイド 520 は、EM 場発生器 302 に恒久的に結合され得るか、又はそれに統合され得る。関連する態様では、器具ガイド 520 は、図 43 A 及び図 43 B の例とは異なる形状 / 曲線及び / 又は長さを有するように構成されてもよいことに留意されたい。

40

【0219】

前述の例と同様に、器具ガイド 520 の軸 522 は、経皮的に挿入可能な器具を EM ターゲット 204 A に向かって誘導するように、EM ターゲット 204 と整合され得る。例えば、プロセッサ 380 は、第 1 のロボットアーム 212 の運動学的姿勢に基づいて、EM 場発生器 308 に関連付けられた EM 座標フレーム 308 内の位置をロボット座標フレーム 216 内の位置にマッピングする位置合わせを決定するように構成され得る。プロセッサ 380 はまた、位置合わせに基づいて、ロボット座標フレーム 216 内の EM ターゲッ

50

ト 2 0 4 の位置を決定することができ、ロボット座標フレーム 2 1 6 内の E M ターゲット 2 0 4 の位置に基づいて、プロセッサ 2 8 0 は、第 1 のロボットアーム 2 1 2 の移動を引き起こし、器具ガイド 5 2 0 の挿入軸 5 2 2 を E M ターゲット 2 0 4 と整合させることができる。

【 0 2 2 0 】

図 4 3 A は、器具ガイド 5 2 0 の軸 5 2 2 が E M ターゲット 2 0 4 と整合されていない第 1 の状態にあるシステムを示している。図 4 3 B は、軸 5 2 2 を E M ターゲット 2 0 4 と整合させた後の第 2 の状態にあるシステムを示している。システムが第 2 の状態にある状態で、経皮的に挿入可能な器具は、E M ターゲット 2 0 4 に向かって軸 5 2 2 に沿って器具ガイド 5 2 0 を通して挿入され得る。

10

【 0 2 2 1 】

システムはまた、経皮的に挿入可能な器具を含み得る。経皮的に挿入可能な器具は、針、アクセスシース、腹腔鏡器具、又は別のタイプの経皮的に挿入可能な器具を含み得る。経皮的に挿入可能な器具は、軸に沿って延在することができる。一部の実施形態では、システムは、経皮的に挿入可能な器具に結合され、それを移動させるように構成された第 2 のロボットアームを備える。かかる場合、プロセッサは更に、第 2 のロボットアームを使用して、経皮的に挿入可能な器具の軸を挿入軸と整合させ、第 2 のロボットアームを使用して、E M ターゲット 2 0 4 に向かって挿入軸に沿って器具ガイドを通して経皮的に挿入可能なものを挿入するように構成され得る。一部の実施形態では、経皮的に挿入可能な器具は、器具ガイド 5 2 0 を通して手動で挿入される器具を含み得る。

20

【 0 2 2 2 】

一部の実施形態では、E M ターゲット 2 0 4 は、患者に挿入されるように構成された医療器具上に位置決めされる E M センサを備える。ロボット医療器具は、内視鏡であり得る。システムは、ロボット医療器具に結合され、それを制御するように構成された第 3 のロボットアームを備え得る。

【 0 2 2 3 】

図 4 4 A 及び図 4 4 B は、器具ガイド 5 3 0 と E M ターゲット 2 0 4 との整合を容易にするように構成されたロボット制御可能な電磁場発生器 3 0 2 を有するロボット医療システムの一実施形態を示している。この例は、器具ガイド 5 3 0 が E M 場発生器 3 0 2 ではなく第 2 のロボットアーム 2 1 2 B に結合されていることを除いて、図 4 3 A 及び図 4 3 B の例と同様である。同様に、プロセッサ 3 8 0 は、E M 場発生器 3 0 2 が取り付けられた第 1 のロボットアーム 2 1 2 A の運動学的姿勢に基づいて、E M 場発生器 3 0 2 に関連付けられた E M 座標フレーム 3 0 8 内の位置をロボット座標フレーム 2 1 6 内の位置にマッピングする位置合わせを決定するように構成され得る。プロセッサ 3 8 0 は更に、位置合わせに基づいて、ロボット座標フレーム内の E M ターゲット 2 0 4 の位置を決定し、ロボット座標フレーム内の E M ターゲットの位置に基づいて、第 2 のロボットアーム 2 1 2 B を移動させ、器具ガイドの挿入軸 5 3 2 を E M ターゲット 2 0 4 と整合させることができる。図 4 4 A は、器具ガイド 5 3 0 の軸 5 3 2 を E M ターゲット 2 0 4 と整合させる前のシステムを示し、図 4 4 B は、整合させた後のシステムを示している。図 4 4 B に示す位置では、経皮的に挿入可能な器具を、器具ガイド 5 3 0 を通して E M ターゲット 2 0 4 に向かって挿入することができる。

30

【 0 2 2 4 】

一部の実施形態では、経皮的に挿入可能な器具は、経皮的に挿入可能な器具を移動させるように構成された第 3 のロボットアームに結合される。かかる場合、プロセッサは、第 3 のロボットアームを使用して、経皮的に挿入可能な器具の軸を器具ガイド 5 3 0 の挿入軸 5 3 2 と整合させ、第 3 のロボットアームを使用して、E M ターゲット 2 0 4 に向かって挿入軸 5 3 2 に沿って器具ガイド 5 3 0 を通して経皮的に挿入可能なものを挿入するように更に構成され得る。他の実施形態では、経皮的に挿入可能な器具は、器具ガイド 5 3 0 を通して手動で挿入することができる。

40

【 0 2 2 5 】

50

システムはまた、患者に挿入されるように構成されたロボット医療器具を備え得る。E Mターゲット204は、ロボット医療器具上にE Mセンサを備え得る。ロボット医療器具は、ロボット医療器具を制御するように構成された別のロボットアームに結合され得る。

【0226】

図45Aは、ロボット制御可能な電磁場発生器を使用して、経皮的に挿入可能な器具をE Mターゲットと整合させるための方法700を示すフローチャートである。方法700は、E M座標フレーム内の位置をロボット座標フレーム内の位置にマッピングする位置合わせが行われるブロック701で開始する。位置合わせは、上述したように、E M場発生器が取り付けられたロボットアームの運動学的姿勢に基づいて決定され得る。

【0227】

次に、ブロック702において、E Mターゲットの位置が、位置合わせに基づいてロボット座標フレームにおいて決定され得る。上述したように、これは、E M場発生器によって生成されたE M場内のE Mターゲットの位置を決定することと、その位置をロボット座標フレームにマッピングすることを含むことができる。

【0228】

E Mターゲットの決定された位置に基づいて、ブロック703において、経皮的に挿入可能な器具の軸がE Mターゲットと整合される。一例が上述の図42Bに示されている。最後に、ブロック704において、経皮的に挿入可能な器具は、E Mターゲットに向かって軸に沿って挿入され得る。一例が、前述の図42Cに示されている。

【0229】

図45Bは、ロボット制御可能な電磁場発生器を使用して、経皮的に挿入可能な器具のための器具ガイドをE Mターゲットと整合させるための方法710を示すフローチャートである。ブロック711において、方法700は、E M座標フレーム内の位置をロボット座標フレーム内の位置にマッピングする位置合わせを決定することを含む。ブロック712において、E Mターゲットの位置は、位置合わせに基づいてロボット座標フレーム内で決定される。最後に、ブロック713において、方法700は、器具ガイドの軸をE Mターゲットと整合させることを含む。例は、E M場発生器上の器具ガイドを示す図43A及び図43B、並びに第2のロボットアーム上に搭載された器具ガイドを示す図44A及び図44Bを参照して上述されている。

【0230】

i v . 歪み検出

ロボット制御されたE M場発生器302は、歪み検出のために使用することもできる。例えば、ロボット制御されたE M場発生器は、静的E Mセンサが関心領域、例えば、針挿入部位、生検部位、又はE M場発生器の作業体積内の任意の静止位置に存在する間に移動するように命令され得る。E M場発生器302は、それが取り付けられるロボットアーム212によって移動させることができ、(ロボット座標フレーム内の)命令されたロボット運動は、(E M座標フレーム内の)記録されたE Mセンサ軌道と比較され得る。2つの軌道間の差は、E M場発生器302の作業体積内のE M信号の歪みの尺度又は指標であり得る。同様の原理はまた、その運動が既知であるか、又は制限された不確実性を有するかのいずれかである非静的E Mセンサでも使用され得る。歪み検出の精度は、E Mセンサの運動/場所の知識の不確実性に依存するか、又はそれによって制限され得る。

【0231】

図46Aは、例えば、E M歪みを検出するために、固定されたE M位置センサ204に対してE M場発生器302を移動させるロボット医療システムの一実施形態を示している。図示した実施形態に示すように、E M場発生器302は、第1のロボットアーム212に結合され得る。E M場発生器302は、E M場を発生させるように構成され得、E M座標フレームに関連付けられ、E M座標フレーム内で、図示されるE Mセンサ204などのE Mセンサの位置が、E M座標フレームを参照して決定され得る。第1のロボットアーム212は、E M場発生器302を再位置決めするために移動するように構成され得る。第1のロボットアーム212は、ロボット座標フレームに関連付けることができる。上述し

10

20

30

40

50

たように、ロボット座標フレーム内のロボットアーム 2 1 2 の運動は、アームの既知の運動学に起因して既知である。したがって、E M 場発生器 3 0 2 が第 1 のロボットアーム 2 1 2 に結合されるので、ロボット座標フレーム 2 1 2 内の E M 場発生器 3 0 2 の位置もまた、アームの運動学的姿勢に基づいて決定され得る。上記でより詳細に説明したように、この関係により、ロボット座標フレームに対する E M 場の E M 座標フレーム内の E M センサ 2 0 4 の位置を決定するために使用され得る位置合わせを確立することができる。

【 0 2 3 2 】

図 4 6 A の図示の実施形態では、E M 場内の E M 歪みを決定又は検出するために、E M センサ 2 0 4 は、固定及び静止位置に提供され得る。例えば、E M センサ 2 0 4 は、患者プラットフォーム又は機器の他の非移動部品などの非移動物体に取り付けることができる。一部の実施形態では、E M センサ 2 0 4 は、ロボット制御される医療器具などの医療器具上に位置決めされる。この場合、図 4 6 A ~ 図 4 7 を参照して説明した歪み検出ステップの間、医療器具は、静止したままであり得るので、E M センサ 2 0 4 の位置は、固定され静止したままとなる。

【 0 2 3 3 】

E M 歪みを検出するために、第 1 のロボットアーム 2 1 2 (及び、ひいては、E M 場発生器 3 0 2) と通信するプロセッサは、第 1 のロボットアーム 2 1 2 に、ロボット軌道 8 5 0 に沿って E M 場発生器 3 0 2 を移動させるように構成され得る。図 4 6 A では、ロボット軌道 8 5 0 は、破線によって表されており、システムは、E M 場発生器 3 0 2 がロボット軌道 8 5 0 に沿ってほぼ中間に位置決めされるように、移動のほぼ途中で示されている。一部の実施形態では、ロボット軌道 8 5 0 に沿った第 1 のロボットアーム 2 1 2 による E M 場発生器 3 0 2 の移動は、コントローラ又は他のユーザインターフェースを使用して運動を命令することができる医師などのオペレータの指示又は制御下で達成することができる。他の実施形態では、ロボット軌道 8 5 0 に沿った第 1 のロボットアーム 2 1 2 による E M 場発生器 3 0 2 の移動は、例えば、システムによって操作される自動 E M 歪み検出プロセスの一部として、自動的に提供され得る。

【 0 2 3 4 】

図 4 6 A において、この例では、E M 場発生器 3 0 2 がロボット軌道 8 5 0 に沿って移動され、これが、E M センサ 2 0 4 が上述したように静止又は固定されたままである間に行われることを認識することが重要である。図 4 6 A はまた、一点鎖線として図に表される、E M センサ軌道 8 5 2 を示している。しかしながら、E M センサ軌道 8 5 2 は、上述したように固定されたままである E M センサ 2 0 4 の物理的移動の結果ではない。むしろ、E M センサ軌道 8 5 2 は、静止した E M センサ 2 0 4 に対する E M 場発生器 3 0 2 の移動によって生成される。例えば、第 1 のロボットアーム 2 1 2 が E M 場発生器 3 0 2 をロボット軌道 8 5 0 に沿って移動させると、E M 場発生器 3 0 2 に関連付けられた E M 座標フレーム内の E M センサの位置が記録され、E M 軌道 8 5 2 を生成する。

【 0 2 3 5 】

したがって、ロボット軌道 8 5 0 は、第 1 のロボットアーム 2 1 2 による E M 場発生器 3 0 2 の移動によってもたらされる。ロボット軌道 8 5 0 は、運動中の第 1 のロボットアーム 2 1 2 の既知の運動学的移動に基づいて検出、決定、及び / 又は記録することができる。対照的に、E M センサ軌道 8 5 2 は、静止 E M センサ 2 0 4 に対する E M 場発生器 3 0 2 の移動によってもたらされる。E M センサ軌道 8 5 2 は、E M 場発生器 3 0 2 が移動され、E M センサ 2 0 4 が静止したままであるときに、E M 場発生器 3 0 2 の E M 場内の E M センサ 2 0 4 を検出することに基づいて、検出、決定、及び / 又は記録され得る。

【 0 2 3 6 】

E M センサ 2 0 4 は、第 1 のロボットアーム 2 1 2 による E M 場発生器 3 0 2 の移動中に固定されたままであるので、いかなる E M 歪みもない場合、ロボット軌道 8 5 0 が E M センサ軌道 8 5 2 に対応することが予想される。これは、E M 場発生器 3 0 2 の移動が、移動する E M 場発生器 3 0 2 と静的 E M センサ 2 0 4 との間の相対運動に一致するはずであるためである。したがって、ロボット軌道 8 5 0 と E M センサ軌道 8 5 2 との間の差を

分析して、E M歪みが存在するかどうかを判定することができる。一部の実施形態では、分析はまた、E M歪みの程度又は深刻度の尺度を提供することができる。

【 0 2 3 7 】

図 4 6 B は、ロボット軌道 8 5 0 と E M センサ軌道 8 5 2 との比較を示している。この例では、各軌道の開始点が整合されているが、これは全ての実施形態で必要であるとは限らない。図 4 6 B に示すように、ロボット軌道 8 5 0 及び E M センサ軌道 8 5 2 は、正確に対応しないことが明白である。E M 歪みを検出するために、軌道間の差を決定することができる。一部の実施形態では、検出された E M 歪みは、固定された E M センサ 2 0 4 の場所における E M 歪みを示す。

【 0 2 3 8 】

ロボット軌道 8 5 0 と E M センサ軌道 8 5 2 との間の全ての差が必ずしも E M 歪みによって引き起こされるわけではない。例えば、ロボットシステムは、製造公差、モータ制御制限、センサ精度などを含む種々の理由のために、完全な精度でロボット運動を決定することができない場合がある。したがって、ロボット軌道 8 5 0 と E M センサ軌道 8 5 2 との間の差のうちの一部は、ロボット運動を決定する際の不正確さによって引き起こされる場合がある。しかしながら、概して、ロボットの運動を決定する際の不正確さは小さく、例えば、ミリメートル未満の範囲であり得る。同様に、E M 場発生器 3 0 2 は、場の中で決定される E M センサ位置の低減された分解能につながり得る E M ノイズを受ける場合がある。これは、E M センサ軌道 8 5 2 の不正確な記録につながり、E M 歪みに直接起因しない差を引き起こし得る。しかしながら、繰り返しとなるが、E M 場発生器は、E M センサノイズが、一部の実施形態では、約 1 ミリメートル以下であるように構成又は選択され得る。したがって、ロボットシステムの一部の実施形態に関して、ロボット運動の決定における不正確さ、及びまた、E M 場内の E M センサ位置を記録することにおける不正確さは、約 1 ミリメートル以下の潜在的な不正確さにつながり得る。

【 0 2 3 9 】

したがって、E M 歪みの存在を判定するために、他の要因による寄与を除外又は低減するように選択された閾値に関して、ロボット軌道 8 5 0 と E M センサ軌道 8 5 2 との間の差を分析することが有益であり得る。一部の実施形態では、閾値は、例えば、1 ミリメートル、1 . 2 5 ミリメートル、1 . 5 ミリメートル、1 . 7 5 ミリメートル、2 ミリメートル、2 . 2 5 ミリメートル、2 . 5 ミリメートル、2 . 7 5 ミリメートル、3 ミリメートル、又はそれ以上であり得る。多くの例では、第 1 のロボットアームの運動と関連付けられた誤差要因又は E M センサ若しくは発生器のノイズと関連付けられた誤差要因の一方又は両方より大きいように、閾値を設定することが有益である。

【 0 2 4 0 】

ロボット軌道 8 5 0 と E M センサ軌道 8 5 2 との比較は、種々の方法で達成することができる。例えば、ロボット軌道 8 5 0 の形状と E M センサ軌道 8 5 2 の形状は、図 4 6 B に示すように、直接比較され得る。形状は、それらがどれほど密接に対応するかを判定するために分析することができ、形状間の偏差が閾値を超える場合、システムは、E M 歪みが存在すること、及び / 又は E M 歪みの程度を決定することができる。別の実施形態では、ロボット軌道 8 5 0 及び E M センサ軌道 8 5 2 を分析して、それらの間の差を決定することは、ロボット軌道 8 5 0 に沿った複数の点を E M センサ軌道 8 5 2 に沿った対応する複数の点と比較することを含み得る。一部の実施形態では、複数の点は、第 1 のロボットアーム 2 1 2 を使用する E M 場発生器 3 0 2 の移動に関連付けられた時間に対して決定される。例えば、移動の開始時（例えば、 $t = 0$ ）のロボット軌道 8 5 0 上の点を、E M センサ軌道 8 5 2 上の対応する点と比較することができる。次に、後続の点をその後の離散時間ステップで比較することができる。

【 0 2 4 1 】

一部の実施形態では、E M 歪みが検出された場合、システムは、第 1 のロボットアーム 2 1 2 を用いて、E M 歪みを低減する場所に E M 場発生器 3 0 2 を再位置決めするように構成することができる。例えば、一部の実施形態では、システムは、ロボット軌道 8 5 0

と E M センサ 軌道 8 5 2 との間の差が低減されるロボット軌道 8 5 0 に沿った位置に、E M 場発生器 3 0 2 を位置決めすることができる。

【 0 2 4 2 】

一部の実施形態では、これは、E M 歪みを低減し得る場所を特定するために、E M 場発生器 3 0 2 を第 2 のロボット軌道に沿って移動させることによって達成することができる。したがって、E M 場発生器 3 0 2 は、第 1 のロボット軌道 8 5 0 とは異なる第 2 のロボット軌道に沿って移動することができる。例えば、E M 場発生器 3 0 2 は、第 1 のロボット軌道 8 5 0 に沿ってカバーされた空間とは異なる空間を通して第 2 のロボット軌道に沿って移動することができる。上述したように、これは、E M センサ 2 0 4 が静止したままである間に行われる。第 2 のロボット軌道は、第 2 の対応する E M センサ軌道とともに記録することができる。これらの軌道を分析して、E M 歪みを低減する場所を決定し得るかどうかを判定することができる。そうである場合、E M 場発生器 3 0 2 は、ロボットアーム 2 1 2 を使用して、その位置に移動させることができる。そうでない場合、E M 歪みを低減する E M 場発生器 3 0 2 のための適切な場所を見つけることができるまで、追加のロボット軌道を試みることができる。

10

【 0 2 4 3 】

図 4 6 A 及び図 4 6 B に関して上述した例では、ロボット軌道 8 5 0 は、グローバルロボット基準フレームに対して定義されており、E M センサ軌道 8 5 2 は、E M 場発生器座標フレームに対して定義されている。この場合、ロボット軌道 8 5 0 を E M センサ軌道 8 5 2 と比較するために、E M 場発生器座標フレームを、グローバルロボット基準フレームに位置合わせする必要がある。E M 場発生器 3 0 2 がロボットアーム 2 1 2 に取り付けられ、グローバルロボット基準フレームと E M 場発生器座標フレームとの間の運動学的関係を確立するので、これは、例えば、上述したように達成することができる。

20

【 0 2 4 4 】

更に、図 4 6 A 及び図 4 6 B に関して上述した例は、理解及び例示を容易にするために幾分簡略化されており、E M センサ 2 0 4 に対する E M 場発生器 3 0 2 の位置のみが変更され、相対的な向きは変更されていないと仮定する。より複雑な例では、E M センサ 2 0 4 に対する E M 場発生器 3 0 2 の位置及び向きの両方を変更することができ、E M センサ 2 0 4 の検出された位置（及び / 又は向き）を分析して、E M 歪みが存在するかどうか（及び / 又はその程度）を決定することができる。かかる場合、E M 歪みの決定は、図 4 6 C に示すように、ロボットアーム 2 1 2 が取り付けられたカートと関連付けられるグローバル基準フレーム 8 5 4 に対して行うことができ、図 4 6 C は、E M 場発生器 3 0 2 が取り付けられるロボットアーム 2 1 2 が、E M センサ 2 0 4 に対する E M 場発生器 3 0 2 の位置及び向きを変化させるロボット軌道 8 5 0 に沿って移動する場合を示している。カート及び E M センサ 2 0 4 は移動していないので、グローバル基準フレーム 8 5 4 に対して測定される任意の検出された位置及び / 又は向きの変化は、歪み（及び無視できる運動学誤差）によるものである。

30

【 0 2 4 5 】

E M 歪みは、E M 場発生器の作業体積内に位置決めされた任意の又は全ての構成要素によって引き起こされ得る。したがって、他の構成要素の最適な又は好ましい位置を見つけるために他の構成要素を移動させながら、同様のプロセスを実行することができる。

40

【 0 2 4 6 】

図 4 7 は、E M 歪み検出のための例示的な方法 8 0 0 を示すフローチャートである。方法 8 0 0 は、図 4 6 A ~ 図 4 6 C に関して上述したプロセスと多くの点で類似している。方法 8 0 0 は、E M 場が、概して、システムのロボットアームへの取り付けを介してロボット制御可能である、前述したシステムなどのロボット医療システムを使用して行うことができる。

【 0 2 4 7 】

方法 8 0 0 は、ブロック 8 0 1 で開始する。ブロック 8 0 1 は、E M センサがある場所に静止したままである間に、第 1 のロボットアームに結合された E M 場発生器を第 1 の口

50

ロボットアームによってロボット軌道に沿って移動させることを含み得る。上述したように、ロボット軌道は、E M場発生器が取り付けられるアームの運動学に基づいて決定することができる。一部の実施形態では、ロボット軌道は、例えば、ロボットアームが取り付けられるカートに関連付けられ得る、グローバル基準フレームに対して決定され得る。一部の実施形態では、ブロック801は、ロボット医療システムのプロセッサ（又は複数のプロセッサ）によって実行される。例えば、プロセッサは、第1のロボットアームにコマンドを送信して、ロボット軌道に沿ったE M場発生器の移動を引き起こすように構成され得る。一部の場合において、E Mセンサは、E M場発生器がロボット軌道に沿って移動する間、決定可能な位置に固定され得る。

【0248】

10

ブロック802において、E M場発生器がロボット軌道に沿って移動するときにE Mセンサによって生成されるセンサデータに基づいて、E M場発生器に関連するE M場内のE MセンサのE Mセンサ軌道を検出することができる。このようにして、前述したように、E M軌道は、E M場発生器がロボット軌道に従ってロボットアームによって移動されたときと同じ期間中のE M場内のE Mセンサの記録された位置であり得る。

【0249】

ブロック803において、ロボット軌道及びE Mセンサ軌道は、それらの間の差を決定するために分析される。分析は、とりわけ、軌道の形状を比較すること、及び/又は軌道に沿った複数の離散点を比較することを含む、複数の方法で行うことができる。かかる比較は、位置及び/又は向きの変化を考慮することができる。

20

【0250】

ブロック804において、軌道間の差と閾値との比較に基づいて、E Mセンサの場所においてE M歪みを検出することができる。閾値は、ロボットの運動を記録又は決定する際の、かつ/又はE M場内のE Mセンサ位置を検出する際のエラーなど、E M歪み以外の要因によって引き起こされる寄与を低減又は除外するように選択又は決定され得る。

【0251】

図48は、E M歪み検出のための別の例示的な方法900を示すフローチャートである。方法900は、E M場が、概して、システムのロボットアームへの取り付けを介してロボット制御可能である、前述したシステムなどのロボット医療システムを使用して行うことができる。方法900は、第1のロボットアームがE M場発生器に結合されるブロック901で開始する。E M場発生器は、E M場を発生させるように構成され、E M座標フレームに関連付けられる。第1のロボットアームは、ロボット座標フレームに関連付けられ、結合されたE M場発生器の位置は、第1のロボットアームの運動学的姿勢に基づいてロボット座標フレーム内で決定され得る。一部の実施形態では、位置は更に、ロボットアームが取り付けられたカートと関連付けられた座標フレームなどのグローバル座標フレームに対して決定され得る。E M場発生器のE M場の作業体積内のE Mセンサの位置は、前述したように、アームのポーズに基づいて決定され、ロボット座標フレーム（又はグローバル座標フレーム）にマッピングされ得る。

30

【0252】

ブロック902において、E M場発生器がE Mセンサに対して第1のE M場発生器位置にある状態で、方法900は、E M場発生器が第1の位置にある状態での第1のロボットアームの運動学に基づいて、E M座標フレームとロボット座標フレームとの間の第1の位置合わせを決定することと、第1の位置合わせに基づいて、ロボット座標フレーム内のE Mセンサの第1のE Mセンサ位置を決定することを含む。

40

【0253】

ブロック903において、方法900は、第1のロボットアームを使用して、E M場発生器をE Mセンサに対して第1のE M場発生器位置から第2のE M場発生器位置に移動させることを含み、E Mセンサは、移動中に静止したままである。一部の実施形態では、第1のロボットアームによるE M場発生器の移動は、コントローラ又は他のユーザインターフェースを使用して運動を命令することができる医師などのオペレータの指示又は制御下

50

で達成され得る。他の実施形態では、ロボット軌道に沿った第1のロボットアームによるEM場発生器の移動は、例えば、システムによって操作される自動EM歪み検出プロセスの一部として、自動的に提供され得る。

【0254】

ブロック904において、EM場発生器が第2のEM場発生器位置にある状態で、EM場発生器が第2のEM場発生器位置にある状態での第1のロボットアームの運動学に基づいて、EM座標フレームとロボット座標フレームとの間の第2の位置合わせが決定され、第2の位置合わせに基づいて、ロボット座標フレーム（又はグローバル座標フレーム）内のEMセンサの第2のEMセンサ位置も決定される。第2の位置合わせは、EM場発生器が移動されたことから必要となり、第2の位置でのロボットアームの新しい運動学的姿勢は、ロボット座標フレームとEM座標フレームとの間の新しい関係を確立するために使用される。

10

【0255】

ブロック905において、方法900は、第1のEMセンサ位置と第2のEMセンサ位置との間の差を決定することを含む。EMセンサは移動していないので、決定された位置は同じであると予想される。しかしながら、ロボットアーム及びEM場発生器（又は移動された他の構成要素）の異なる位置によって引き起こされるEM歪みは、決定された位置を変動させ得る。一部の実施形態では、向きの変化も考慮され得る。ブロック906において、EM歪みは、差と閾値との間の比較（例えば、差が閾値を超えること）に基づいて検出され得る。上述したように、他の要因が差に寄与する可能性がある。上述したように、閾値は、これらの他の非EM歪み要因の寄与を低減するように選択又は決定することができる。

20

【0256】

閾値に対して相対的に見た場合、閾値を超える差は、EM歪みが存在していることを示すことができる。しかしながら、2つのEM場発生器の位置（及び／又は向き）を試験するだけでは、どの位置が最も正確な位置の決定を提供したかを判定することは困難であり得る。したがって、ロボットアームを使用してEM場発生器を新しい位置に移動させることと、ロボットアームの運動学に基づくEM場発生器の新しい位置に基づいて新しいEM対ロボット座標位置合わせを決定することと、新しく決定された位置合わせに基づいてロボット座標フレーム内のEMセンサの位置を決定することと、の関連するステップを繰り返すことによって、複数の他のEM場発生器位置（及び／又は向き）を試験し続けることが有利であり得る。

30

【0257】

一部の実施形態では、このプロセスを継続して、複数の場所で歪みを決定することによってEM歪みのマップを構築することができる。他の位置からの変化が最も少ないEMセンサ位置の決定を提供するEM場発生器の場所は、低いEM歪みを有すると判定することができる。一方、他の位置からの変化が最も多いEMセンサ位置の決定を提供するEM場発生器の場所は、高いEM歪みを有すると判定することができる。このようにして、システム又はオペレータは、EM歪みを低減するためにEM場発生器及び他の構成要素をどのように位置決めするのが最良であるかを判定することができる。

40

【0258】

上述した方法を使用して検出されるEM歪み（及び概してEM歪み）は、静的又は動的の両方であり得る。静的EM歪みは不変であり、対応する補正値を適用することによってEM測定値から決定し、除去することができる。静的EM歪みは、一般に移動せず、したがって処置中に変化しない手術室内の物体、並びに地球の磁場などのより大きいスケールファクタを含む、複数の要因によって引き起こされ得る。動的EM歪みは、処置の過程にわたって変化する要因によって引き起こされる。これらは、システムの動くロボット構成要素のうちのいずれか、並びに手術室を通して移動し得る他の構成要素（又は更には人々）を含み得る。歪み検出は、静的歪みの検出及び補正の両方のために、並びに動的歪みを低減する移動構成要素のための最適位置を見出すために使用され得る。

50

【 0 2 5 9 】

v . マルチモーダルセンサ融合

ロボット制御された E M 場発生器 3 0 2 はまた、マルチモーダルセンサ融合を可能にするのに有用であり得る。本明細書で使用される場合、マルチモーダルセンサ融合は、単一の処置中に異なるセンサタイプを相乗的に同時に又は並行して使用することを指し得る。一例として、ロボットアーム 2 1 2 上に堅固に搭載された E M 場発生器 3 0 2 を用いて、E M 検知技術を、ロボットアーム 2 1 2 上又はロボットシステム内に搭載された他の撮像及び検知モダリティに位置合わせすることができる。E M 検知モダリティを、ロボットアーム、カート、又はベースに取り付けられた、又はその一部である他の撮像及び検知モダリティと位置合わせすることは、例えば、簡略化された表示（複数の検知モダリティからのデータが、統一された方法で一緒に表示され得る）、拡張現実などを提供することを容易にし得る。本セクションでは、マルチモーダル機能を提供するために E M 検知技術が超音波技術とともに使用され得る例が説明される。これにより、例えば、超音波画像内のニードル先端（ニードル先端は E M センサを含む）の正確な特定が可能になり得る。概して、超音波画像における針先端の決定は、アーチファクトが画像を歪ませる可能性があるもので、容易ではない可能性がある。超音波及び E M 場の撮像面をロボット座標フレームなどの単一空間に位置合わせすることは、超音波画像内の針先端の決定を容易にすることができる。これを達成するために、超音波プローブは、以下でより詳細に説明するように、ロボットアーム上に堅固に搭載され得る。超音波撮像面が、E M 場発生器 3 0 2 の座標フレームに対して運動学的に既知である場合、針の内側の E M センサは、リアルタイムで追跡され、超音波画像上にオーバーレイされ得る。

10

20

【 0 2 6 0 】

超音波プローブをロボットアームに取り付けることで、超音波プローブの撮像面の位置合わせ又は較正を容易にすることができる。超音波プローブの撮像面の較正は、概して、3 つの異なる既知の位置から 3 つの異なる超音波画像を捕捉することを必要とし得る。3 つの超音波画像は、対応する既知の位置とともに、撮像面を較正するために使用され得る。従来、外科用ロボットシステムで 사용되는超音波プローブを較正するために、追加の機器が必要とされてきた。例えば、3 つの超音波画像が捕捉される位置を決定するために、外部の位置追跡システムを設定する必要がある。特定の例として、光センサ（赤外線 L E D など）を超音波プローブに取り付けることができる。O p t i t r a c k などの位置追跡システムは、超音波プローブに取り付けられ、その位置を決定するために使用される光学センサの位置を検出することができる。外科用ロボットの設定では、追加の機器が必要とされるので、これは不利であり得る。

30

【 0 2 6 1 】

超音波プローブをロボットアームに取り付けることによって、超音波プローブの位置は、ロボットアームに取り付けられた E M 場発生器に関して上述したのと同様の方法で、アームの運動学に基づいて、アームに関連付けられたロボット座標フレームに対して容易に決定することができる。この基準位置で基準超音波画像を捕捉することができる。ロボットアームは、次いで、第 1 の超音波画像が捕捉される第 1 の位置に超音波プローブを移動させることができ、第 1 の位置は、アームの運動学に基づいて決定され得る。ロボットアームは、次いで、第 2 の超音波画像が捕捉される第 2 の位置に超音波プローブを移動させることができ、第 2 の位置は、第 2 の位置におけるアームの運動学に基づいて決定され得る。次いで、3 つの画像（ベース、第 1、及び第 2）及び位置（ベース、第 1、及び第 2）を使用して、従来の位置追跡機器などの外部機器又は追加の機器を必要とせずに、超音波プローブの撮像面を較正することができる。

40

【 0 2 6 2 】

図 4 9 A は、超音波プローブの撮像面を較正するための手順の間、超音波プローブ 1 0 5 0 がロボットアーム 2 1 2 に取り付けられているロボット医療システムを示している。図示の実施形態では、ロボットアーム 2 1 2 は、超音波プローブ 1 0 5 0 に結合される。例えば、超音波プローブ 1 0 5 0 は、ロボットアーム 2 1 2 又はアーム上に位置決めされ

50

た器具デバイスマニピュレータ (instrument device manipulator、I D M) の遠位端に取り付けられ得る。ロボットアーム 2 1 2 は、超音波プローブ 1 0 5 0 の位置を調整するために移動するように構成される。ロボットアーム 2 1 2 はまた、上述したように、ロボット座標フレームと関連付けられる。図 4 9 A の図示の実施形態では、3 つの位置 B i、B j、及び B k が示されている。ロボットアーム 2 1 2 は、超音波プローブ 2 1 2 をこれらの 3 つの位置の間で移動させるように移動する。各位置において、アームの運動学を使用して、ロボット座標フレームにおける超音波プローブの位置を決定することができる。

【 0 2 6 3 】

第 1 の位置 B i において、超音波プローブ 1 0 5 0 は第 1 の画像を捕捉することができる。次いで、超音波プローブ 1 0 5 0 は、ロボットアーム 2 1 2 を使用して第 2 の位置 B j に移動される。第 2 の位置 B j において、超音波プローブ 1 0 5 0 により第 2 の超音波画像が撮像される。次いで、超音波プローブ 1 0 5 0 は、ロボットアーム 2 1 2 を使用して第 3 の位置 B j に移動される。第 3 の位置 B j において、超音波プローブ 1 0 5 0 により第 3 の超音波画像が撮像される。システムは、第 1 の超音波画像と、超音波プローブが第 1 の超音波プローブ位置にある状態での第 1 のロボットアームの第 1 の運動学と、第 2 の超音波画像と、超音波プローブが第 2 の超音波プローブ位置にある状態での第 1 のロボットアームの第 2 の運動学と、第 3 の超音波画像と、超音波プローブが第 2 の超音波プローブ位置にある状態での第 1 のロボットアームの第 3 の運動学と、に基づいて、ロボット座標フレームに対して超音波プローブ 1 0 5 0 の撮像面を較正することができる。

【 0 2 6 4 】

撮像面が較正され、ロボット座標フレームに位置合わせされると、ロボットシステムは、複数の検知モダリティを同時に利用することができる。図 4 9 B は、例示的なマルチモーダルロボットシステムを示している。図 4 9 B に示すように、ロボットシステムは、第 1 のロボットアーム 2 1 2 A、第 2 のロボットアーム 2 1 2 B、及び第 3 のロボットアーム 2 1 2 C を含み得る。ロボットアームは、各々が共通のロボット座標フレームと関連付けられるように、カート、患者プラットフォーム、又は他の共通構造に取り付けられることができる。図示の実施形態では、撮像面が較正された超音波プローブ 1 0 5 0 は、第 1 のロボットアーム 2 1 2 A に取り付けられる。E M 場発生器 3 0 2 は、第 2 のロボットアーム 2 1 2 B に取り付けられる。E M 場発生器 3 0 2 は、その中で E M センサ 2 0 4 などの E M センサの位置が決定され得る E M 場を発生させるように構成される。上述した E M 対ロボット座標フレーム位置合わせ手順を使用して、E M センサ 2 0 4 の位置をロボット座標フレーム内で決定することができる。超音波プローブの撮像面もロボット座標フレームに位置合わせされているので、E M センサ 2 0 4 の位置の撮像面は、両方とも共通の空間 (ロボット座標フレーム) 内で決定され、したがって、図 4 9 B に示すように、両方とも共通のディスプレイ上に表示することができる。

【 0 2 6 5 】

図 4 9 B では、E M センサ 2 0 4 は、患者の治療領域に挿入されるスコープの遠位端に位置決めすることができる。スコープは、異なるロボットアームに取り付けられ、それによって制御される、ロボット制御された医療器具であり得る。あるいは、スコープは手動で制御されるスコープであってもよい。図 4 9 B はまた、針などの医療器具を第 3 のロボットアーム 2 1 2 C に取り付けることができることを示している。第 3 のロボットアーム 2 1 2 C に堅固に取り付けることができる針の位置も、ロボット座標フレームに対して決定することができる。したがって、針の位置もまた、撮像面及び E M センサデータとともに表示され得る。このようにして、種々のセンサ技術を単一のロボットシステムに融合させ、単一の処置中に同時に使用することができる。この例では、針とスコープとのランデブーは、ロボットデータ、超音波データ、及び E M データによって容易にされ、ランデブーの精度を改善し、包括的かつ改善された手術経験を提供することができる。

【 0 2 6 6 】

図 5 0 は、ロボット医療システムとともに使用するための超音波プローブの撮像面を較正するための例示的な方法 1 0 0 0 を示すフローチャートである。方法 1 0 0 0 は、超音

10

20

30

40

50

波プローブが第1のロボットアームに結合されるブロック1001で開始する。第1のロボットアームは、超音波プローブの位置を調整するために移動するように構成され、第1のロボットアームはロボット座標フレームに関連付けられる。ブロック1002において、超音波プローブは、第1のロボットアームを使用して第1の超音波プローブ位置に移動される。第1の超音波プローブ位置は、超音波プローブの撮像面を較正するために使用される第1の超音波画像が捕捉される位置であり得る。第1の位置は、第1のロボットアームの運動学に基づいて決定することができる。ブロック1003において、超音波プローブが第1の超音波プローブ位置に位置決めされた状態で第1の超音波画像を取得する。ブロック1004において、超音波プローブは、第1のロボットアームを使用して第2の超音波プローブ位置に移動される。第2の超音波プローブ位置は、第2の画像を捕捉し得る位置とすることができ、これは、ブロック1005で行われる。第2の画像はまた、超音波プローブの撮像面を較正するために使用され得る。第2の位置は、アームの運動学に基づいて決定することができる。矢印1006によって示されるように、ブロック1004及び1005は、例えば、図49Aに示すように、第3の位置において第3の画像を捕捉するために繰り返され得る。一部の実施形態では、これらのステップは、更なる回数繰り返され、更なる位置で更なる画像を捕捉することができる。

10

【0267】

ブロック1007において、ロボット座標フレームに対する超音波プローブの撮像面撮像面は、第1の超音波画像と、超音波プローブが第1の超音波プローブ位置にある状態での第1のロボットアームの第1の運動学と、第2の超音波画像と、超音波プローブが第2の超音波プローブ位置にある状態での第1のロボットアームの第2の運動学と、第3の超音波画像と、超音波プローブが第3の超音波プローブ位置にある状態での第1のロボットアームの第3の運動学と、に基づいて較正することができる。較正されると、撮像面は、ロボット座標フレームに対して決定され、同様にロボット座標フレームに対して決定され得る他の検知モダリティ（EMなど）と併用することができる。

20

【0268】

一部の実施形態では、方法1000はまた、EM場発生器を第2のロボットアームに結合することを含み得、EM場発生器は、EM場を発生させるように構成され、EM場発生器は、EM座標フレームに関連付けられ、第2のロボットアームは、ロボット座標フレームに関連付けられたEM場発生器及び第2のロボットアームの位置を調整するように移動するように構成される。方法1000はまた、EM場座標フレームとロボット座標フレームとの間の位置合わせを、第2のロボットアームの運動学に基づいて決定することを含み得る。これは、上述したように達成することができる。第1のロボットアーム及び第2のロボットアームは、ロボット座標フレーム内の第1のロボットアームと第2のロボットアームとの間の関係を規定するカート又は患者プラットフォームに取り付けられ得る。これは、EM場発生器及び超音波プローブの両方がロボット座標フレーム内にもたらされることを可能にし得る。方法1000はまた、EMセンサをEM場内に位置決めすることと、位置合わせに基づいてロボット座標フレーム内のEMセンサ位置を決定することとを含み得る。加えて、方法1000はまた、超音波プローブの撮像面を表示することと、例えば、図49Bに示すように、超音波プローブの表示された撮像面上に決定されたEMセンサ位置の指示をオーバーレイすることと、を含み得る。

30

40

【0269】

マルチモーダル機能をEM及び超音波に関して説明してきたが、他のモダリティを使用することもできる。例えば、一部の実施形態では、深度センサをロボットアームに取り付けることができる。深度センサは、患者、ベッド若しくはプラットフォーム、処置中に使用される蛍光透視Cアーム、及び/又は手術空間内の他のアイテムの位置をグローバルロボット基準フレームに位置合わせするために使用され得る。一部の実施形態では、これらの位置は、それぞれ、図51A及び図51Bに示すように、ヒートマップ又は点群として表され得る。深度センサカメラは、例えば、図51Cに示すように、その視野内のオブジェクトまでの距離を測定するように構成され得る。（例えば、深度センサの出力をロボッ

50

ト座標フレーム又はグローバル座標フレームに位置合わせするための)深度センサのための較正は、上記で説明した超音波プローブの較正と同じ方法で進めることができる。概して、深度センサは、ピクセル及び深度情報に関して製造業者によって較正される。ロボットシステムとともに使用するために、例えば、本明細書に説明するように、ロボットフレームに対して深度センサの姿勢を較正することが必要とされ得、これは、上述したように、前述した超音波プローブと同様の方法で達成され得る。

【0270】

一部の実施形態では、ロボット医療システムは、複数の異なるセンサ機能を互いに組み合わせて利用することができる。例えば、システムは、超音波プローブと、カメラ又は深度センサと、EM場発生器とを含むことができ、その各々の出力は、較正され、ロボット又はグローバル座標フレームに位置合わせされ得る。これらの実施形態では、超音波プローブは、患者の体内に関する撮像データを提供することができる。同様に、カメラ又は深度センサは、外部生体構造、例えば、患者の位置、並びにCアームなどの手術室内に位置する外部デバイスに関する撮像又は他の情報を提供することができる。これは、ロボット座標フレームに対して患者がどこにいるかを知ることが、システムが、例えば、針挿入部位を特定することを可能にし得るため、有利であり得る。加えて、Cアームなどの、ロボット座標フレームに対する手術室内の他のアイテムの位置を把握することは、システムが、歪みを生じさせ得る物体が電磁場発生器に近接するときを把握することを可能にし得る。

【0271】

3. システムの実施及び用語。

本明細書に開示される実装形態は、ロボット制御可能な電磁場発生器のためのシステム、方法、及び装置を提供する。

【0272】

本明細書で使用するとき、「結合する」、「結合している」、「結合された」という用語、又は結合という単語の他の変形は、間接的接続又は直接的接続のいずれかを示し得ることに留意されたい。例えば、第1の構成要素が第2の構成要素に「結合される」場合、第1の構成要素は、別の構成要素を介して第2の構成要素に間接的に接続される、又は第2の構成要素に直接的に接続される、のいずれかであってもよい。

【0273】

本明細書に記載される特定のコンピュータにより実施されるプロセス及び機能を参照する語句は、プロセッサ可読媒体又はコンピュータ可読媒体上の1つ又は2つ以上の命令として記憶されてもよい。「コンピュータ可読媒体」という用語は、コンピュータ又はプロセッサがアクセスすることができる任意の利用可能な媒体を指す。一例として、限定するものではないが、かかる媒体は、ランダムアクセスメモリ(random access memory、RAM)、読み出し専用メモリ(read-only memory、ROM)、電気的消去可能プログラム可能読み出し専用メモリ(electrically erasable programmable read-only memory、EEPROM)、フラッシュメモリ、コンパクトディスク読み出し専用メモリ(compact disc read-only memory、CD-ROM)、又は他の光ディスク記憶装置、磁気ディスク記憶装置、若しくは他の磁気記憶デバイス、又は命令若しくはデータ構造の形態で所望のプログラムコードを記憶するために使用することができ、コンピュータがアクセスすることができる任意の他の媒体を含んでもよい。コンピュータ可読媒体は、有形であり、非一時的であってもよいことに留意されたい。本明細書で使用するとき、「コード」という用語は、コンピューティングデバイス又はプロセッサによって実行可能であるソフトウェア、命令、コード、又はデータを指すことができる。

【0274】

本明細書に開示される方法は、記載される方法を達成するための1つ又は2つ以上のステップ又は行為を含む。方法ステップ及び/又は行為は、特許請求の範囲から逸脱することなく互いに交換されてもよい。換言すれば、記載されている方法の適切な動作のために特定の順序のステップ又は行為が必要とされない限り、特許請求の範囲から逸脱することなく、特定のステップ及び/又は行為の順序及び/又は使用を修正してもよい。

【 0 2 7 5 】

本明細書で使用するとき、「複数」という用語は、2つ又は3つ以上を示す。例えば、複数の構成要素は、2つ又は3つ以上の構成要素を示す。「決定する」という用語は、多種多様な行為を包含し、したがって、「決定する」は、計算する、演算する、処理する、算出する、調査する、ルックアップする（例えば、テーブル、データベース又は別のデータ構造を見ること）、確認することなどを含み得る。また、「決定する」は、受け取る（例えば、情報を受信すること）、アクセスする（例えば、メモリ内のデータにアクセスすること）などを含み得る。また、「決定する」は、解決する、選択する、選出する、確立するなどを含み得る。

【 0 2 7 6 】

語句「に基づく」は、別段に明示的に指定されない限り、「のみに基づく」を意味しない。換言すれば、語句「基づく」は、「のみに基づく」及び「少なくとも基づく」の両方を記載する。

【 0 2 7 7 】

開示された実装形態の前の説明は、当業者が本明細書で開示された本発明を作成又は使用することを可能にするために提供される。これらの実装形態に対する様々な修正は、当業者には容易に明らかになり、かつ、本明細書で規定される一般的な原理は、本発明の範囲から逸脱することなく、他の実装形態に適用され得る。例えば、当業者であれば、締結、搭載、結合、又は係合ツール構成要素の均等の方法、特定の作動運動を生み出すための均等の機構、及び電気エネルギーを送達するための均等の機構など、多くの対応する代替的かつ均等の構造的詳細を採用することができると理解されるであろう。したがって、本明細書の開示は、明示的に説明された実装形態に限定されるものではなく、本明細書で開示する原理及び新規の特徴に一致する最も広い範囲を与えられるべきである。

【 0 2 7 8 】

〔実施の態様〕

(1) ロボット医療システムであって、

電磁 (E M) 場発生器に結合するように構成され、前記 E M 場発生器を移動させるように構成された第 1 のロボットアームと、

1 つ又は 2 つ以上のプロセッサであって、

前記 E M 場発生器に関連付けられた E M 座標フレーム内の前記 E M 場内の E M センサの E M 位置を決定することと、

前記第 1 のロボットアームに関連付けられたロボット座標フレーム内の前記 E M 場発生器の位置を決定することと、

前記 E M 場発生器の前記位置に基づいて、前記 E M 座標フレームと前記ロボット座標フレームとの間の位置合わせを決定することと、

前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M センサの位置を決定することと、を行うように構成された、1 つ又は 2 つ以上のプロセッサと、を備える、システム。

(2) 前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、前記第 1 のロボットアームの運動学に基づいて、前記 E M 場発生器の前記位置を決定するように構成されている、実施態様 1 に記載のシステム。

(3) 前記 E M 場発生器が、コンパクトな電磁場発生器 (c F G) を備える、実施態様 1 に記載のシステム。

(4) 前記第 1 のロボットアームが、前記 E M 場発生器に取り外し可能に結合するように構成されている、実施態様 1 に記載のシステム。

(5) 医療器具の移動を制御するように構成された第 2 のロボットアームを更に備え、前記ロボット座標フレームが、前記第 2 のロボットアームに更に関連付けられている、実施態様 1 に記載のシステム。

【 0 2 7 9 】

(6) 前記第 1 のロボットアーム及び前記第 2 のロボットアームが、可動カートに結合

10

20

30

40

50

される、実施態様 5 に記載のシステム。

(7) 前記第 1 のロボットアーム及び前記第 2 のロボットアームが、医療処置中に患者を支持するように構成された患者プラットフォームに結合される、実施態様 5 に記載のシステム。

(8) 前記 E M センサが、前記医療器具上に位置決めされている、実施態様 5 に記載のシステム。

(9) 前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、医療処置中に患者へのアクセスを可能にするために、前記第 1 のロボットアームに前記 E M 場発生器を移動させるように更に構成されている、実施態様 1 に記載のシステム。

(10) 前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、

10

前記第 1 のロボットアームに、前記 E M 場発生器を前記 E M センサに対して新しい位置に移動させることと、

前記 E M 場発生器に関連付けられた前記 E M 座標フレーム内の前記 E M 場内の前記 E M センサの新しい E M 位置を決定することであって、前記新しい E M 位置が、前記 E M 位置と比較して改善された精度を有する、決定することと、を行うように更に構成されている、実施態様 1 に記載のシステム。

【 0 2 8 0 】

(11) 前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、前記第 1 のロボットアームに、前記 E M 場発生器を移動させて、前記 E M 場発生器の前記位置及び前記第 1 のロボットアームの前記位置に基づいて、前記 E M 場発生器の作業体積内で前記 E M センサを中心に置くように更に構成されている、実施態様 1 に記載のシステム。

20

(12) ロボット医療処置を実施するための方法であって、前記方法が、

第 1 のロボットアームに結合された電磁 (E M) 場発生器を用いて E M 場を発生させることであって、前記 E M 場が、 E M 座標フレームに関連付けられる、発生させることと、

前記第 1 のロボットアームの運動学に基づいてロボット座標フレーム内の前記 E M 場発生器の位置を決定することと、

前記 E M 場発生器の前記決定された位置に基づいて、前記 E M 座標フレームと前記第 1 のロボットアームに関連付けられた前記ロボット座標フレームとの間の位置合わせを決定することと、

前記 E M 座標フレーム内の E M センサの位置を決定することと、

30

前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M センサの前記位置を決定することと、を含む、方法。

(13) 前記ロボット座標フレーム内の前記 E M 場発生器の前記位置の前記決定が、前記第 1 のロボットアームの運動学に基づく、実施態様 12 に記載の方法。

(14) 前記 E M 場発生器を前記第 1 のロボットアームに取り外し可能に結合することを更に含む、実施態様 12 に記載の方法。

(15) 前記第 1 のロボットアームに前記 E M 場発生器を移動させることを更に含む、実施態様 12 に記載の方法。

【 0 2 8 1 】

(16) 前記第 1 のロボットアームに前記 E M 場発生器を移動させることが、前記第 1 のロボットアームに、医療処置中に患者へのアクセスを可能にする位置に前記 E M 場発生器を移動させることを含む、実施態様 15 に記載の方法。

40

(17) 前記第 1 のロボットアームに前記 E M 場発生器を移動させることが、前記 E M 場座標フレーム内で前記 E M センサを追跡する際の改善された精度に関連する新しい位置に対して前記 E M 場発生器を移動させることを含む、実施態様 15 に記載の方法。

(18) 前記第 1 のロボットアームに前記 E M 場発生器を移動させることが、前記 E M 場発生器の作業体積内で前記 E M センサを中心に置くことを含む、実施態様 15 に記載の方法。

(19) 第 2 のロボットアームに結合された医療器具を制御することを更に含み、前記ロボット座標フレームが、前記第 2 のロボットアームに関連付けられる、実施態様 12 に

50

記載の方法。

(20) 前記第1のロボットアーム及び前記第2のロボットアームが、可動カートに結合される、実施態様19に記載の方法。

【0282】

(21) 前記ロボット医療処置中に患者を支持するように構成された患者プラットフォームに対して前記可動カートを位置決めして、ロボット座標フレームと前記患者プラットフォームとの間に既知の空間関係が存在するようにすることを更に含む、実施態様20に記載の方法。

(22) 前記第1のロボットアーム及び前記第2のロボットアームが、前記ロボット医療処置中に患者を支持するように構成された患者プラットフォームに結合される、実施態様19に記載の方法。

10

(23) 前記EMセンサが、前記医療器具上に位置決めされている、実施態様19に記載の方法。

(24) 前記EM場発生器が、コンパクトな電磁場発生器(cFG)を備える、実施態様12に記載の方法。

(25) コンピュータプログラム命令を含む非一時的コンピュータ可読記憶媒体であって、前記コンピュータプログラム命令が、1つ又は2つ以上のプロセッサによって実行されると、前記1つ又は2つ以上のプロセッサに、

第1のロボットアームの運動学に基づいてロボット座標フレーム内の電磁(EM)場発生器の位置を決定することであって、前記EM場発生器が、前記第1のロボットアームに結合されている、決定することと、

20

前記EM場発生器の前記決定された位置に基づいて、EM座標フレームと、前記第1のロボットアームに関連付けられた前記ロボット座標フレームとの間の位置合わせを決定することであって、前記EM座標フレームが、前記EM発生器によって生成されたEM場に関連付けられる、決定することと、

前記EM座標フレーム内のEMセンサの位置を決定することと、

前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記EMセンサの前記位置を決定することと、を行わせる、非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

【0283】

(26) 前記EM場発生器が、コンパクトな電磁場発生器(cFG)を備える、実施態様25に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

30

(27) 前記第1のロボットアームが、前記EM場発生器に取り外し可能に結合するように構成されている、実施態様25に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

(28) 前記コンピュータプログラム命令が、実行されると、更に、前記1つ又は2つ以上のプロセッサに、

医療器具の移動を制御するように構成された第2のロボットアームを制御させ、

前記ロボット座標フレームが、前記第2のロボットアームに更に関連付けられている、実施態様25に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

(29) 前記第1のロボットアーム及び前記第2のロボットアームが、可動カートに結合される、実施態様28に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

40

(30) 前記第1のロボットアーム及び前記第2のロボットアームが、医療処置中に患者を支持するように構成された患者プラットフォームに結合される、実施態様28に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

【0284】

(31) ロボット医療システムであって、

電磁(EM)場を発生させるように構成されたEM場発生器に結合された第1のロボットアームであって、前記第1のロボットアームが、前記EM場発生器を移動させるように構成されている、第1のロボットアームと、

患者に挿入されるように構成された医療器具であって、前記医療器具が、EMセンサを備える、医療器具と、

50

1つ又は2つ以上のプロセッサであって、

前記E M場内の前記E Mセンサの位置を決定することと、

前記E Mセンサの前記決定された位置に基づいて、前記第1のロボットアームの移動を命令することによって、前記E M場発生器の位置を調整することと、を行うように構成された、1つ又は2つ以上のプロセッサと、を備える、システム。

(32) 前記E Mセンサの前記決定された位置に基づいて前記E M場発生器の前記位置を調整することにより、前記E Mセンサが前記E M場内の所定の位置に位置決めされる、実施態様1に記載のシステム。

(33) 前記E M場内の前記所定の位置が、前記E M場の作業体積の中心を含む、実施態様32に記載のシステム。

10

(34) 前記E Mセンサの前記決定された位置に基づいて前記E M場発生器の前記位置を調整することが、前記E Mセンサが前記E M場の作業体積の所定の領域内に位置決めされるように、前記E M場発生器の前記位置を調整することを含む、実施態様1に記載のシステム。

(35) 前記1つ又は2つ以上のプロセッサが、

前記E M場内の前記E Mセンサの向きを決定することと、

前記E Mセンサの前記決定された向きに基づいて、前記第1のロボットアームの移動を命令することによって、前記E M場発生器の向き及び前記位置のうちの少なくとも1つを調整することと、を行うように更に構成されている、実施態様1に記載のシステム。

【0285】

20

(36) 前記1つ又は2つ以上のプロセッサが、前記E Mセンサの前記決定された向きに基づいて、前記E M場発生器の前記向き及び前記位置のうちの少なくとも1つを調整し、前記E M場内の前記E Mセンサの前記決定された位置の精度を増加させるように構成されている、実施態様35に記載のシステム。

(37) 前記1つ又は2つ以上のプロセッサが、

前記医療器具の移動中に、前記E Mセンサが前記E M場の作業体積内に位置決めされるように、前記E M場発生器を移動させるように前記第1のロボットアームの移動を命令するように更に構成されている、実施態様1に記載のシステム。

(38) 前記第1のロボットアームを介した前記E M場発生器の前記移動が、前記医療器具の前記移動を追跡する、実施態様37に記載のシステム。

30

(39) 前記1つ又は2つ以上のプロセッサが、前記E Mセンサが前記E M場の前記作業体積の所定の領域内に位置決めされるように、前記医療器具の移動中に前記E M場発生器を移動させるように前記第1のロボットアームの移動を命令するように構成されている、実施態様37に記載のシステム。

(40) 前記1つ又は2つ以上のプロセッサが、前記E Mセンサが前記E M場の前記作業体積内の所定の位置に位置決めされるように、前記医療器具の移動中に前記E M場発生器を移動させるように前記第1のロボットアームの移動を命令するように構成されている、実施態様37に記載のシステム。

【0286】

(41) 前記所定の位置が、前記E M場の前記作業体積の中心を含む、実施態様40に記載のシステム。

40

(42) 第2のロボットアームを更に備え、

前記医療器具が、前記第2のロボットアームに結合されており、

前記1つ又は2つ以上のプロセッサが、前記第2のロボットアームによる前記医療器具の移動を命令するように構成されている、実施態様37に記載のシステム。

(43) 前記第1のロボットアーム及び前記第2のロボットアームが、カート及び患者プラットフォームのうちの1つに結合され、前記患者プラットフォームが、医療処置中に患者を支持するように構成されている、実施態様42に記載のシステム。

(44) 前記カート及び前記患者プラットフォームのうちの1つに結合される第3のロボットアームを更に備える、実施態様43に記載のシステム。

50

(4 5) 前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、

E M 場発生器に関連付けられた E M 座標フレームに対する前記 E M 場内の前記 E M センサの前記位置を決定することと、

前記 E M 座標フレームと前記第 1 のロボットアームに関連付けられたロボット座標フレームとの間の位置合わせを、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M 場発生器の位置を決定することに基づいて決定することと、

前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M センサの前記位置を決定することと、を行うように構成されている、実施態様 1 に記載のシステム。

【 0 2 8 7 】

(4 6) 前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、前記第 1 のロボットアームの運動学に基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M 場発生器の前記位置を決定するように構成されている、実施態様 4 5 に記載のシステム。

10

(4 7) ロボット医療方法であって、

第 1 のロボットアームに結合された電磁 (E M) 場発生器によって生成された E M 場の作業体積内の医療器具の E M センサの位置を決定することと、

前記医療器具を移動させることと、

前記医療器具の前記移動に応答して、前記第 1 のロボットアームに、前記 E M センサが前記 E M 場発生器の前記作業体積内に位置決めされたままとなるように前記 E M 場発生器を移動させるように命令することと、を含む、方法。

(4 8) 前記医療器具が、第 2 のロボットアームに結合され、

20

前記医療器具を移動させることが、前記第 2 のロボットアームを用いて前記医療器具を移動させることを含む、実施態様 4 7 に記載の方法。

(4 9) 前記第 2 のロボットアームを用いて前記器具を移動させることが、前記第 2 のロボットアームを関節運動させることを含む、実施態様 4 8 に記載の方法。

(5 0) 前記医療器具が、器具駆動機構に結合されており、

前記第 2 のロボットアームを用いて前記医療器具を移動させることが、前記器具駆動機構を用いて前記医療器具を作動させることを含む、実施態様 4 8 に記載の方法。

【 0 2 8 8 】

(5 1) 前記 E M 場発生器を移動させるように前記第 1 のロボットアームに命令することにより、前記 E M 場発生器が前記医療器具の前記移動を追跡する、実施態様 4 7 に記載の方法。

30

(5 2) 前記 E M 場発生器を移動させるように前記第 1 のロボットアームに命令することが、前記 E M センサが前記 E M 場の前記作業体積の所定の領域内に位置決めされるように、前記 E M 場発生器を移動させることを含む、実施態様 4 7 に記載の方法。

(5 3) 前記 E M 場発生器を移動させるように前記第 1 のロボットアームに命令することが、前記 E M センサが前記 E M 場の前記作業体積内の所定の位置に位置決めされるように、前記 E M 場発生器を移動させることを含む、実施態様 4 7 に記載の方法。

(5 4) 前記 E M 場内の前記 E M センサの向きを決定することと、

前記 E M センサの前記決定された向きに基づいて、前記第 1 のロボットアームの移動を命令することによって、前記 E M 場発生器の向き及び前記位置のうちの少なくとも 1 つを調整することと、を更に含む、実施態様 4 7 に記載の方法。

40

(5 5) 前記 E M 場の前記向き及び前記位置のうちの前記少なくとも 1 つを調整することが、前記 E M 場の前記作業体積内の前記 E M センサの前記決定された位置の精度を増加させる、実施態様 5 4 に記載の方法。

【 0 2 8 9 】

(5 6) E M 場発生器に関連付けられた E M 座標フレームに対する前記 E M 場の前記作業体積内の前記 E M センサの前記位置を決定することと、

前記 E M 座標フレームと前記第 1 のロボットアームに関連付けられたロボット座標フレームとの間の位置合わせを、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M 場発生器の位置を決定することに基づいて決定することと、

50

前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M センサの前記位置を決定することと、を更に含む、実施態様 47 に記載の方法。

(57) 前記ロボット座標フレーム内の前記 E M 場発生器の前記位置を決定することが、前記第 1 のロボットアームの運動学に基づく、実施態様 56 に記載の方法。

(58) ロボット医療システムであって、
電磁 (E M) 場を発生させるように構成された E M 場発生器と、
前記 E M 場発生器に結合され、前記 E M 場発生器を移動させるように構成された第 1 のロボットアームと、

前記 E M 場発生器及び前記第 1 のロボットアームと通信する 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサと、を備え、前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、

前記 E M 場内の複数の E M センサの位置を決定することと、

前記複数の E M センサの前記決定された位置に基づいて、前記 E M 場発生器の発生器位置を決定することと、

前記第 1 のロボットアームに、前記 E M 場発生器を前記決定された発生器位置に移動させるように命令することと、を行うように構成されている、システム。

(59) 前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、前記複数の E M センサの前記決定された位置の重心を決定することに基づいて、前記発生器位置を決定するように構成されている、実施態様 58 に記載のシステム。

(60) 患者に挿入されるように構成された細長いシャフトを備える医療器具を更に備え、

前記複数の E M センサのうちの少なくとも 1 つが、前記細長いシャフト上に位置決めされている、実施態様 58 に記載のシステム。

【0290】

(61) 第 2 のロボットアームを更に備え、

前記第 2 のロボットアームが、前記第 2 のロボットアームが前記医療器具を移動させることができるように、前記医療器具に結合される、実施態様 60 に記載のシステム。

(62) 前記第 1 のロボットアーム及び前記第 2 のロボットアームが、カート、又はロボット医療処置中に患者を支持するように構成された患者プラットフォームに結合される、実施態様 61 に記載のシステム。

(63) 前記 E M センサのうちの少なくとも 1 つが、前記患者上に位置し、前記患者の呼吸又は他の移動を追跡するように構成されている、パッチセンサを備える、実施態様 60 に記載のシステム。

(64) 前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、

E M 場発生器に関連付けられた E M 座標フレームに対する前記 E M 場内の前記複数の E M センサの前記位置を決定することと、

前記 E M 座標フレームと前記第 1 のロボットアームに関連付けられたロボット座標フレームとの間の位置合わせを、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M 場発生器の位置を決定することに基づいて決定することと、

前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M センサの前記位置を決定することと、を行うように更に構成されている、実施態様 58 に記載のシステム。

(65) 前記ロボット座標フレーム内の前記 E M 場発生器の前記位置の前記決定が、前記第 1 のロボットアームの運動学に基づく、実施態様 64 に記載のシステム。

【0291】

(66) 前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、

前記 E M センサのうちの少なくとも 1 つの移動を検出することと、

前記検出された移動に基づいて、前記 E M 場発生器の新しい発生器位置を決定することと、

前記第 1 のロボットアームに、前記 E M 場発生器を前記新しい発生器位置に移動させるように命令することと、を行うように更に構成されている、実施態様 58 に記載のシステム。

10

20

30

40

50

(6 7) ロボット医療処置中に電磁 (E M) 場発生器を位置決めするための方法であって、前記方法が、

第 1 のロボットアームに結合された E M 場発生器を用いて E M 場を発生させることと、
前記 E M 場内の複数の E M センサの位置を決定することと、

前記複数の E M センサの前記決定された位置に基づいて、前記 E M 場発生器の発生器位置を決定することと、

前記第 1 のロボットアームに、前記 E M 場発生器を前記発生器位置に移動させるように命令することと、を含む、方法。

(6 8) 前記複数の E M センサの前記決定された位置の重心を決定することに基づいて、前記発生器位置を決定することを更に含む、実施態様 6 7 に記載の方法。

10

(6 9) 前記複数の E M センサのうちの少なくとも 1 つが、医療器具の細長いシャフト上に位置決めされる、実施態様 6 7 に記載の方法。

(7 0) 前記医療器具が、第 2 のロボットアームに結合される、実施態様 6 9 に記載の方法。

【 0 2 9 2 】

(7 1) 前記 E M センサのうちの少なくとも 1 つが、患者上に位置決めされ、前記患者の呼吸又は他の移動を追跡するように構成されている、パッチセンサを備える、実施態様 7 0 に記載の方法。

(7 2) E M 場発生器に関連付けられた E M 座標フレームに対する前記 E M 場内の前記複数の電磁 (E M) センサの前記位置を決定することと、

20

前記 E M 座標フレームと前記第 1 のロボットアームに関連付けられたロボット座標フレームとの間の位置合わせを、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M 場発生器の発生器位置を決定することに基づいて決定することと、

前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記複数の E M センサの前記位置を決定することと、を更に含む、実施態様 6 7 に記載の方法。

(7 3) 前記ロボット座標フレーム内の前記 E M 場発生器の前記発生器位置の前記決定が、前記第 1 のロボットアームの運動学に基づく、実施態様 6 8 に記載の方法。

(7 4) 前記複数の前記 E M センサのうちの少なくとも 1 つの移動を検出することと、
前記検出された移動に基づいて、前記 E M 場発生器の新しい発生器位置を決定することと、

30

前記第 1 のロボットアームに、前記 E M 場発生器を前記新しい発生器位置に移動させるように命令することと、を更に含む、実施態様 6 7 に記載の方法。

(7 5) ロボット医療システムであって、

電磁 (E M) 場を発生させるように構成された E M 場発生器と、

前記 E M 場発生器に結合され、それを移動させるように構成された第 1 のロボットアームと、

軸に沿って延在する経皮的に挿入可能な器具と、

前記経皮的に挿入可能な器具に結合され、それを移動させるように構成された第 2 のロボットアームと、

患者内に位置決めされるように構成された E M ターゲットと、

40

前記 E M 場発生器及び前記第 1 のロボットアームと通信する 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサと、を備え、前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、

前記第 1 のロボットアームの運動学的姿勢に基づいて、前記 E M 場発生器に関連付けられた E M 座標フレーム内の位置をロボット座標フレーム内の位置にマッピングする位置合わせを決定することと、

前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの位置を決定することと、

前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置に基づいて、前記経皮的に挿入可能な器具の前記軸を前記 E M ターゲットと整合させるように前記第 2 のロボットアームを移動させることと、

50

前記第 2 のロボットアームを使用して、前記 E M ターゲットに向かって前記軸に沿って前記経皮的に挿入可能な器具の挿入を引き起こすことと、を行うように構成されている、システム。

【 0 2 9 3 】

(7 6) 前記位置合わせが、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M 場発生器の前記位置に基づいて決定され、

前記ロボット座標フレームを有する前記 E M 場発生器の前記位置が、前記第 1 のロボットアームの前記運動学的姿勢に基づいて決定される、実施態様 7 5 に記載のシステム。

(7 7) 前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、

前記 E M 座標フレーム内の前記 E M ターゲットの位置を決定することと、

10

前記位置合わせを使用して、前記 E M 座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置を前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置にマッピングすることと、を行うことによって、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置を決定するように構成されている、実施態様 7 6 に記載のシステム。

(7 8) 前記患者に挿入されるように構成されたロボット医療器具と、

前記ロボット医療器具に結合され、それを制御するように構成された第 3 のロボットアームと、を更に備え、

前記 E M ターゲットが、前記ロボット医療器具上に位置決めされた E M センサを備える、実施態様 7 5 に記載のシステム。

(7 9) 前記経皮的に挿入可能な器具が、針、アクセスシース、及び腹腔鏡器具のうちの 1 つを備える、実施態様 7 5 に記載のシステム。

20

(8 0) ロボット医療システムであって、

経皮的に挿入可能な器具を挿入軸に沿って誘導するように構成された器具ガイドであって、前記器具ガイドが、電磁 (E M) 場発生器上に位置決めされるように構成されており、前記 E M 場発生器が、 E M 場を発生させるように構成されている、器具ガイドと、

前記 E M 場発生器に結合されるように構成された第 1 のロボットアームであって、前記第 1 のロボットアームが、前記 E M 場発生器及び前記器具ガイドを移動させるように更に構成されている、第 1 のロボットアームと、

1 つ又は 2 つ以上のプロセッサであって、

患者内に位置決めされた E M ターゲットを決定することと、

30

前記 E M 場に関連付けられた E M 座標フレーム内の位置を、前記第 1 のロボットアームの運動学的姿勢に関連付けられたロボット座標フレーム内の位置にマッピングする位置合わせを決定することと、

前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの位置を決定することと、

前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置に基づいて、前記第 1 のロボットアームを移動させて、前記器具ガイドの前記挿入軸を前記 E M ターゲットと整合させることと、を行うように構成された、 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサと、を備える、システム。

【 0 2 9 4 】

40

(8 1) 軸に沿って延在する経皮的に挿入可能な器具と結合するように構成された第 2 のロボットアームを更に備え、前記第 2 のロボットアームが、前記経皮的に挿入可能な器具を移動させるように更に構成されており、

前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、

前記第 2 のロボットアームを使用して、前記経皮的に挿入可能な器具の前記軸を前記挿入軸と整合させることと、

前記第 2 のロボットアームを使用して、前記 E M ターゲットに向かって前記挿入軸に沿って前記器具ガイドを通して前記経皮的に挿入可能な器具を挿入することと、を行うように更に構成されている、実施態様 8 0 に記載のロボット医療システム。

(8 2) ロボット医療器具と結合するように構成された第 3 のロボットアームを更に備

50

え、前記第3のロボットアームが、前記ロボット医療器具が前記患者に挿入されている間に前記ロボット医療器具を制御するように更に構成されており、前記EMターゲットが、前記ロボット医療器具上に配置されたEMセンサを備える、実施態様81に記載のシステム。

(83) 前記位置合わせが、前記ロボットフレーム内の前記EM場発生器の位置に基づいて決定され、

前記ロボット座標フレームを有する前記EM場発生器の前記位置が、前記第1のロボットアームの前記運動学的姿勢に基づいて決定される、実施態様80に記載のシステム。

(84) 前記1つ又は2つ以上のプロセッサが、

前記EM座標フレーム内の前記EMターゲットの位置を決定することと、

10

前記位置合わせに基づいて、前記EM座標フレーム内の前記EMターゲットの前記位置を前記ロボット座標フレーム内の前記EMターゲットの前記位置にマッピングすることと、を行うように構成されることによって、前記ロボット座標フレーム内の前記EMターゲットの前記位置を決定するように構成されている、実施態様83に記載のシステム。

(85) 前記経皮的に挿入可能な器具が、針、アクセスシース、及び腹腔鏡器具のうちの1つを備える、実施態様80に記載のシステム。

【0295】

(86) ロボット医療システムであって、

電磁(EM)場発生器に結合し、それを移動させるように構成された第1のロボットアームであって、前記EM場発生器が、EM場を発生させるように構成されている、第1のロボットアームと、

20

器具ガイドを移動させるように結合するように構成された第2のロボットアームであって、前記器具ガイドが、経皮的に挿入可能な器具を挿入軸に沿って誘導するように構成されている、第2のロボットアームと、

1つ又は2つ以上のプロセッサであって、

患者内に位置決めされたEMターゲットを決定することと、

前記第1のロボットアームの運動学的姿勢に基づいて、前記EM場発生器に関連付けられたEM座標フレーム内の位置をロボット座標フレーム内の位置にマッピングする位置合わせを決定することと、

前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記EMターゲットの位置を決定することと、

30

前記ロボット座標フレーム内の前記EMターゲットの前記位置に基づいて、前記第2のロボットアームを移動させて、前記器具ガイドの前記挿入軸を前記EMターゲットと整合させることと、を行うように構成された、1つ又は2つ以上のプロセッサと、を備える、システム。

(87) 前記経皮的に挿入可能な器具に結合し、それを移動させるように構成された第3のロボットアームを更に備え、前記経皮的に挿入可能な器具が、軸に沿って延在し、

前記1つ又は2つ以上のプロセッサが、

前記第3のロボットアームを使用して、前記経皮的に挿入可能な器具の前記軸を前記挿入軸と整合させることと、

40

前記第3のロボットアームを使用して、前記EMターゲットに向かって前記挿入軸に沿って前記器具ガイドを通して前記経皮的に挿入可能な器具を挿入することと、を行うように更に構成されている、実施態様86に記載のロボット医療システム。

(88) ロボット医療器具に結合し、それを制御するように構成された第4のロボットアームを更に備え、前記ロボット医療器具が、前記患者に挿入されるように構成されており、

前記EMターゲットが、前記ロボット医療器具上に位置決めされたEMセンサを備える、実施態様87に記載のシステム。

(89) 前記位置合わせが、前記ロボットフレーム内の前記EM場発生器の位置に基づいて決定され、

50

前記ロボット座標フレームを有する前記 E M 場発生器の前記位置が、前記第 1 のロボットアームの前記運動学的姿勢に基づいて決定される、実施態様 86 に記載のシステム。

(90) 前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、

前記 E M 座標フレーム内の前記 E M ターゲットの位置を決定することと、

前記位置合わせを使用して、前記 E M 座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置を前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置にマッピングすることと、を行うように構成されることに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置を決定するように構成されている、実施態様 89 に記載のシステム。

【0296】

(91) 前記経皮的に挿入可能な器具が、針、アクセスシース、及び腹腔鏡器具のうちの 1 つを備える、実施態様 86 に記載のシステム。

10

(92) ロボット医療方法であって、

第 1 のロボットアームの運動学的姿勢に基づいて、前記第 1 のロボットアームに結合された電磁 (E M) 場発生器に関連付けられた E M 座標フレーム内の位置をロボット座標フレーム内の位置にマッピングする位置合わせを決定することと、

前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の E M ターゲットの位置を決定することと、

前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置に基づいて、経皮的に挿入可能な器具に結合された第 2 のロボットアームを移動させて、前記経皮的に挿入可能な器具の軸を前記 E M ターゲットと整合させることと、

20

前記第 2 のロボットアームを使用して、前記 E M ターゲットに向かって前記軸に沿って前記経皮的に挿入可能な器具の挿入を引き起こすことと、を含む、方法。

(93) 前記位置合わせを決定することが、前記ロボットフレーム内の前記 E M 場発生器の前記位置に基づいて前記位置合わせを決定することを含み、前記ロボット座標フレームを有する前記 E M 場発生器の前記位置が、前記第 1 のロボットアームの前記運動学的姿勢に基づいて決定される、実施態様 92 に記載の方法。

(94) 前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置を前記決定することが、

前記 E M 座標フレーム内の前記 E M ターゲットの位置を決定することと、

前記位置合わせを使用して、前記 E M 座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置を前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置にマッピングすることと、を含む、実施態様 93 に記載の方法。

30

(95) ロボット医療器具に結合され、それを制御するように構成された第 3 のロボットアームを使用して、患者内で前記ロボット医療器具をナビゲートすることを更に含み、

前記 E M ターゲットが、前記ロボット医療器具上に位置決めされた E M センサを備える、実施態様 92 に記載の方法。

【0297】

(96) 前記経皮的に挿入可能な器具が、針、アクセスシース、及び腹腔鏡器具のうちの 1 つを備える、実施態様 92 に記載の方法。

(97) ロボット医療方法であって、

40

第 1 のロボットアームの運動学的姿勢に基づいて、前記第 1 のロボットアームに結合された電磁 (E M) 場発生器に関連付けられた E M 座標フレーム内の位置をロボット座標フレーム内の位置にマッピングする位置合わせを決定することと、

前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の E M ターゲットの位置を決定することと、

前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置に基づいて、前記第 1 のロボットアームを移動させて、前記 E M 場発生器上に位置決めされた器具ガイドの挿入軸を前記 E M ターゲットと整合させることであって、前記器具ガイドが、前記挿入軸に沿って経皮的に挿入可能な器具を誘導するように構成されている、ことと、を含む、方法。

(98) ロボット医療方法であって、

50

第 1 のロボットアームの運動学的姿勢に基づいて、前記第 1 のロボットアームに結合された電磁 (E M) 場発生器に関連付けられた E M 座標フレーム内の位置をロボット座標フレーム内の位置にマッピングする位置合わせを決定することと、

前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の E M ターゲットの位置を決定することと、

前記ロボット座標フレーム内の前記 E M ターゲットの前記位置に基づいて、第 2 のロボットアームを移動させて、前記第 2 のロボットアームに結合された器具ガイドの挿入軸を前記 E M ターゲットと整合させることと、を含む、方法。

(9 9) ロボット医療システムであって、

電磁 (E M) 場発生器に結合され、それを移動させるように構成された第 1 のロボットアームであって、前記 E M 場発生器が、 E M センサの位置が E M 座標フレームに対して決定され得る作業体積を有する E M 場を発生させるように構成されている、第 1 のロボットアームと、

10

1 つ又は 2 つ以上のプロセッサであって、

前記第 1 のロボットアームを使用して前記 E M 場発生器を移動させることと、

E M センサが前記作業体積内で検出された場合に、

(i) 前記 E M 座標フレームに対する前記作業体積内の前記 E M センサの位置を決定することと、

(i i) 前記第 1 のロボットアームの運動学的姿勢に基づいて、前記 E M センサの前記位置を前記第 1 のロボットアームに関連付けられたロボット座標フレームにマッピングすることと、を行うように構成された、 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサと、を備える、システム。

20

(1 0 0) 前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、前記第 1 のロボットアームを使用して、探索経路に沿って前記 E M 場発生器を移動させるように構成されており、前記探索経路が、前記作業体積よりも大きい治療体積を通して前記作業体積を掃引し、前記治療体積内の E M センサの位置を特定するように構成されている、実施態様 9 9 に記載のシステム。

【 0 2 9 8 】

(1 0 1) 前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、

前記ロボット座標フレーム内の前記 E M センサの前記決定された位置に基づいて、追跡経路を決定することと、

30

前記 E M センサの前記位置を追跡するように、前記第 1 のロボットアームを使用して前記追跡経路に沿って前記 E M 場発生器を移動させることと、

前記第 1 のロボットアームを使用して、前記追跡経路に沿って前記 E M 場発生器を移動させることと、を行うように更に構成されている、実施態様 1 0 0 に記載のシステム。

(1 0 2) 前記 E M 場発生器が前記追跡経路に沿って移動した場合、前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、

(i) 前記 E M 座標フレームに対する前記作業体積内の前記 E M センサの前記位置を再決定することと、

(i i) 前記第 1 のロボットアームの前記運動学的姿勢に基づいて、前記 E M センサの前記位置を前記ロボット座標フレームに再マッピングすることと、

40

(i i i) 更新された追跡経路を決定することと、を行うように構成されている、実施態様 1 0 1 に記載のシステム。

(1 0 3) ロボット医療システムであって、

電磁 (E M) 場発生器に結合され、それを移動させるように構成された第 1 のロボットアームであって、前記 E M 場発生器が、 E M センサの位置が E M 座標フレームに対して決定され得る作業体積を有する E M 場を発生させるように構成されている、第 1 のロボットアームと、

1 つ又は 2 つ以上のプロセッサであって、

(i) 前記 E M 場発生器が第 1 の位置にある状態で、

前記 E M 座標フレームに対する前記作業体積内の第 1 の E M センサの位置を決定す

50

ることと、

前記 E M 場発生器が前記第 1 の位置にある状態での前記第 1 のロボットアームの運動学に基づいて、前記第 1 の E M センサの前記位置を前記第 1 のロボットアームに関連付けられたロボット座標フレームにマッピングすることと、

(i i) 前記 E M 場発生器を第 2 の位置に移動させることと、

(i i i) 前記 E M 場発生器が前記第 2 の位置にある状態で、

前記 E M 座標フレームに対する前記作業体積内の第 2 の E M センサの位置を決定することと、

前記 E M 場発生器が前記第 2 の位置にある状態での前記第 1 のロボットアームの前記運動学に基づいて、前記第 2 の E M センサの前記位置を前記ロボット座標フレームにマッピングすることと、を行うように構成された、1 つ又は 2 つ以上のプロセッサと、を備える、システム。

10

(1 0 4) 前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、第 1 の E M センサ及び前記第 2 の E M センサが前記 E M 場発生器の前記作業体積内に同時に位置しないように、前記第 1 のロボットアームを移動させるように更に構成されている、実施態様 1 0 3 に記載のシステム。

(1 0 5) 前記 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサが、前記第 1 の E M センサ及び前記第 2 の E M センサの前記位置を追跡するために前記第 1 の位置と前記第 2 の位置との間で前記 E M 場発生器を移動させるように更に構成されている、実施態様 1 0 3 に記載のシステム。

【 0 2 9 9 】

(1 0 6) 方法であって、

20

第 1 のロボットアームを使用して、前記第 1 のロボットアーム上に位置決めされた電磁 (E M) 場発生器を移動させることと、

E M センサが作業体積内で検出された場合に、

(i) E M 座標フレームに対する、前記 E M 場発生器によって発生された E M 場の作業体積内の前記 E M センサの位置を決定することと、

(i i) 前記第 1 のロボットアームの運動学的姿勢に基づいて、前記 E M センサの前記位置を前記第 1 のロボットアームに関連付けられたロボット座標フレームにマッピングすることと、を含む、方法。

(1 0 7) 方法であって、

(i) 第 1 のロボットアームに結合された電磁 (E M) 場発生器が第 1 の位置にある状態で、

30

前記 E M 座標フレームに対する、前記 E M 場発生器によって生成された E M 場の作業体積内の第 1 の E M センサの位置を決定することと、

前記 E M 場発生器が前記第 1 の位置にある状態での前記第 1 のロボットアームの運動学に基づいて、前記第 1 の E M センサの前記位置を前記第 1 のロボットアームに関連付けられたロボット座標フレームにマッピングすることと、

(i i) 前記第 1 のロボットアームを使用して前記 E M 場発生器を第 2 の位置に移動させることと、

(i i i) 前記 E M 場発生器が前記第 2 の位置にある状態で、

前記 E M 座標フレームに対する前記作業体積内の第 2 の E M センサの位置を決定することと、

40

前記 E M 場発生器が前記第 2 の位置にある状態での前記第 1 のロボットアームの前記運動学に基づいて、前記第 2 の E M センサの前記位置を前記ロボット座標フレームにマッピングすることと、を含む、方法。

(1 0 8) ロボット医療システムであって、

電磁 (E M) 場を発生させるように構成された E M 場発生器に結合された第 1 のロボットアームと、

E M センサと、

プロセッサと、を備え、前記プロセッサが、

前記 E M センサがある場所に留まっている間に、ロボット軌道に沿った前記 E M 場発生

50

器の移動を引き起こすように、前記第 1 のロボットアームにコマンドを送信することと、
前記 E M 場発生器が前記ロボット軌道に沿って移動した期間に対応する、前記 E M 場内の前記 E M センサの E M センサ軌道を検出することと、

前記ロボット軌道及び前記 E M センサ軌道を分析して、前記ロボット軌道と前記 E M センサ軌道との間の差を決定することと、

前記差と閾値との間の比較に基づいて前記場所における E M 歪みを検出することと、を行うように構成されている、システム。

(1 0 9) 前記プロセッサが、前記第 1 のロボットアームに対応する運動学的データに基づいて前記ロボット軌道を決定するように構成されている、実施態様 1 0 8 に記載のシステム。

10

(1 1 0) 前記プロセッサが、前記第 1 のロボットアームの移動に関連付けられた誤差要因又は E M センサノイズに関連付けられた誤差要因のうちの少なくとも 1 つに基づいて、前記閾値を決定するように構成されている、実施態様 1 0 8 に記載のシステム。

【 0 3 0 0 】

(1 1 1) 前記プロセッサが、前記ロボット軌道の形状と前記 E M センサ軌道の形状との比較に基づいて、前記ロボット軌道と前記 E M センサ軌道との間の前記差を決定するように構成されている、実施態様 1 0 8 に記載のシステム。

(1 1 2) 前記プロセッサが、前記ロボット軌道に沿った複数の点と前記 E M センサ軌道に沿った対応する複数の点との比較に基づいて、前記ロボット軌道と前記 E M センサ軌道との間の前記差を決定するように構成されている、実施態様 1 0 8 に記載のシステム。

20

(1 1 3) 前記複数の点の各々が、前記 E M 場発生器の前記移動に関連付けられた時間に対して決定される、実施態様 1 1 2 に記載のシステム。

(1 1 4) 前記プロセッサが、前記場所における前記 E M 歪みを検出すると、前記第 1 のロボットアームを用いて前記 E M 場発生器を再位置決めし、前記場所における前記 E M 歪みを低減させるように更に構成されている、実施態様 1 0 8 に記載のシステム。

(1 1 5) 前記プロセッサが、

前記 E M センサが前記場所に留まっている間に、第 2 のロボット軌道に沿った前記 E M 場発生器の移動を引き起こすように、前記第 1 のロボットアームに追加のコマンドを送信することと、

前記 E M 場発生器が前記第 2 のロボット軌道に沿って移動した期間に対応する、前記 E M 場内の前記 E M センサの第 2 の E M センサ軌道を検出することと、

30

前記第 2 のロボット軌道及び前記第 2 の E M センサ軌道を分析して、前記第 2 のロボット軌道と前記第 2 の E M センサ軌道との間の差を決定することと、

前記第 2 のロボット軌道と前記第 2 の E M センサ軌道との間の前記差と、前記ロボット軌道と前記 E M センサ軌道との間の前記差とを比較することと、を行うように構成されていることによって、前記第 1 のロボットアームを用いて前記 E M 場発生器を再位置決めして、前記場所における前記 E M 歪みを低減するように構成されている、実施態様 1 1 4 に記載のシステム。

【 0 3 0 1 】

(1 1 6) 前記プロセッサが、前記第 2 のロボット軌道と前記第 2 の E M センサ軌道との間の前記差が、前記ロボット軌道と前記 E M センサ軌道との間の前記差よりも小さい場合に、前記第 2 のロボット軌道に沿った点に前記 E M 場発生器を位置決めするように構成されている、実施態様 1 1 5 に記載のシステム。

40

(1 1 7) ロボットシステムの 1 つ又は 2 つ以上のプロセッサのセットによって実行される方法であって、前記方法が、

電磁 (E M) センサがある場所に留まっている間に、第 1 のロボットアームに、 E M 場発生器を第 1 の場所から第 2 の場所に移動させるように命令することと、

前記第 1 の場所から前記第 2 の場所に移動する前記 E M 場発生器に関連付けられたロボット軌道を決定することと、

E M 場内の前記 E M センサの E M センサ軌道を検出することであって、前記 E M センサ

50

軌道が、前記 E M 場発生器が前記ロボット軌道に沿って移動した期間に関連付けられる、検出することと、

前記ロボット軌道と前記 E M センサ軌道との間の差を決定することと、

前記差と歪み閾値との比較に基づいて、前記場所における E M 歪みを検出することと、を含む、方法。

(1 1 8) 前記ロボット軌道を決定することが、前記第 1 のロボットアームに対応する運動学的データを使用することに更に基づく、実施態様 1 1 7 に記載の方法。

(1 1 9) 前記第 1 の場所から前記第 2 の場所に移動する前記 E M 場発生器に関連付けられた前記ロボット軌道を決定することが、前記第 1 のロボットアームの移動に関連付けられた誤差要因を補償することを含む、実施態様 1 1 7 に記載の方法。

10

(1 2 0) 前記 E M センサ軌道を検出することが、E M センサノイズに関連付けられた誤差要因を補償することを含む、実施態様 1 1 7 に記載の方法。

【 0 3 0 2 】

(1 2 1) 前記ロボット軌道と前記 E M センサ軌道との間の前記差を決定することが、前記ロボット軌道の形状を前記 E M センサ軌道の形状と比較することを更に含む、実施態様 1 1 7 に記載の方法。

(1 2 2) 前記ロボット軌道と前記 E M センサ軌道との間の前記差を決定することが、前記ロボット軌道に沿った複数の点を前記 E M センサ軌道に沿った対応する複数の点と比較することを更に含む、実施態様 1 1 7 に記載の方法。

(1 2 3) 前記複数の点の各々が、前記 E M 場発生器の前記移動に関連付けられた時間に対して決定される、実施態様 1 2 2 に記載の方法。

20

(1 2 4) 前記場所における前記 E M 歪みを検出すると、前記第 1 のロボットアームを用いて前記 E M 場発生器を再位置決めして、前記場所における前記 E M 歪みを低減することを更に含む、実施態様 1 1 7 に記載の方法。

(1 2 5) 前記 E M センサが前記場所に留まっている間に、第 2 のロボット軌道に沿った前記 E M 場発生器の移動を引き起こすように、前記第 1 のロボットアームに命令することと、

前記 E M 場内の前記 E M センサの第 2 の E M センサ軌道を検出することであって、前記第 2 の E M センサ軌道が、前記 E M 場発生器が前記第 2 のロボット軌道に沿って移動した期間に関連付けられる、検出することと、

30

前記第 2 のロボット軌道及び前記第 2 の E M センサ軌道を分析して、前記第 2 のロボット軌道と前記第 2 の E M センサ軌道との間の差を決定することと、

前記第 2 のロボット軌道と前記第 2 の E M センサ軌道との間の前記差と、前記ロボット軌道と前記 E M センサ軌道との間の前記差とを比較することと、を更に含む、実施態様 1 1 7 に記載の方法。

【 0 3 0 3 】

(1 2 6) 前記第 2 のロボット軌道と前記第 2 の E M センサ軌道との間の前記差が、前記ロボット軌道と前記 E M センサ軌道との間の前記差よりも小さい場合に、前記第 2 のロボット軌道に沿った点に前記 E M 場発生器を位置決めすることを更に含む、実施態様 1 2 5 に記載の方法。

40

(1 2 7) ロボット医療システムであって、

電磁 (E M) 場を発生させるように構成された E M 場発生器に結合された第 1 のロボットアームであって、前記第 1 のロボットアームが、ロボット座標フレームに関連付けられ、前記 E M 場発生器が、E M 座標フレームに関連付けられる、第 1 のロボットアームと、E M センサと、

前記第 1 のロボットアームと通信するプロセッサと、を備え、前記プロセッサが、

前記 E M 場発生器が前記 E M センサの場所に対して第 1 の E M 場発生器位置にある状態での前記第 1 のロボットアームの運動学に基づいて、前記 E M 座標フレームと前記ロボット座標フレームとの間の第 1 の位置合わせを決定することと、

前記第 1 の位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M センサの第

50

1 の E M センサ位置を決定することと、

前記第 1 のロボットアームを使用して、前記 E M センサに対して前記 E M 場発生器を前記第 1 の E M 場発生器位置から第 2 の E M 場発生器位置に移動させることと、

前記 E M 場発生器が前記 E M センサの前記場所に対して前記第 2 の E M 場発生器位置にある状態での前記第 1 のロボットアームの前記運動学に基づいて、前記 E M 座標フレームと前記ロボット座標フレームとの間の第 2 の位置合わせを決定することと、

前記第 2 の位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M センサの第 2 の E M センサ位置を決定することと、

前記第 1 の E M センサ位置と前記第 2 の E M センサ位置との間の差を決定することと、

前記差と閾値との間の比較に基づいて前記場所における E M 歪みを検出することと、を行うように構成されている、システム。

10

(1 2 8) 前記プロセッサが、位置歪みを決定するように更に構成されている、実施態様 1 2 7 に記載のシステム。

(1 2 9) 前記プロセッサが、向きの歪みを決定するように更に構成されている、実施態様 1 2 7 に記載のシステム。

(1 3 0) 前記閾値が、前記第 1 のロボットアームの運動に関連付けられた誤差要因又は E M センサノイズに関連付けられた誤差要因のうちの少なくとも 1 つに基づいて決定される、実施態様 1 2 7 に記載のシステム。

【 0 3 0 4 】

(1 3 1) 方法であって、

20

電磁 (E M) 場発生器を第 1 のロボットアームに結合することであって、前記 E M 場発生器が、E M 座標フレームに関連付けられた E M 場を発生させるように構成され、前記第 1 のロボットアームが、ロボット座標フレームに関連付けられる、結合することと、

前記 E M 場発生器が E M センサの場所に対して第 1 の E M 場発生器位置にある状態での前記第 1 のロボットアームの運動学に基づいて、前記 E M 座標フレームと前記ロボット座標フレームとの間の第 1 の位置合わせを決定することと、

前記第 1 の位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M センサの第 1 の E M センサ位置を決定することと、

前記第 1 のロボットアームを使用して、前記 E M センサに対して前記 E M 場発生器を前記第 1 の E M 場発生器位置から第 2 の E M 場発生器位置に移動させることであって、前記 E M センサが、前記移動中に静止したままである、移動させることと、

30

前記 E M 場発生器が前記第 2 の E M 場発生器位置にある状態での前記第 1 のロボットアームの前記運動学及び前記 E M センサの前記場所に基づいて、前記 E M 座標フレームと前記ロボット座標フレームとの間の第 2 の位置合わせを決定することと、

前記第 2 の位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の前記 E M センサの第 2 の E M センサ位置を決定することと、

前記第 1 の E M センサ位置と前記第 2 の E M センサ位置との間の差を決定することと、

前記差が閾値を超えることに基づいて、前記場所における E M 歪みを検出することと、を含む、方法。

(1 3 2) ロボット医療システムであって、

40

超音波プローブに結合された第 1 のロボットアームであって、前記第 1 のロボットアームが、前記超音波プローブの位置を調整するために移動するように構成され、前記第 1 のロボットアームが、ロボット座標フレームに関連付けられる、第 1 のロボットアームと、

前記第 1 のロボットアーム及び前記超音波プローブと通信するプロセッサと、を備え、前記プロセッサが、

前記第 1 のロボットアームを使用して、前記超音波プローブを第 1 の超音波プローブ位置に移動させることと、

前記超音波プローブが前記第 1 の超音波プローブ位置に位置決めされた状態で第 1 の超音波画像を捕捉することと、

前記第 1 のロボットアームを使用して、前記超音波プローブを第 2 の超音波プローブ位

50

置に移動させることと、

前記超音波プローブが前記第 2 の超音波プローブ位置に位置決めされた状態で第 2 の超音波画像を捕捉することと、

前記第 1 のロボットアームを使用して、前記超音波プローブを第 3 の超音波プローブ位置に移動させることと、

前記超音波プローブが前記第 3 の超音波プローブ位置に位置決めされた状態で第 3 の超音波画像を捕捉することと、

前記ロボット座標フレームに対して前記超音波プローブの撮像面を、

前記第 1 の超音波画像と、前記超音波プローブが前記第 1 の超音波プローブ位置にある状態での前記第 1 のロボットアームの第 1 の運動学と、

前記第 2 の超音波画像と、前記超音波プローブが前記第 2 の超音波プローブ位置にある状態での前記第 1 のロボットアームの第 2 の運動学と、

前記第 3 の超音波画像と、前記超音波プローブが前記第 3 の超音波プローブ位置にある状態での前記第 1 のロボットアームの第 3 の運動学と、に基づいて、較正することと、を行うように構成されている、システム。

(1 3 3) 電磁 (E M) 場を発生させるように構成された E M 場発生器であって、前記 E M 場発生器が、E M 座標フレームに関連付けられる、E M 場発生器と、

前記 E M 場発生器の位置を調整するために移動するように構成された第 2 のロボットアームであって、前記第 2 のロボットアームが、前記ロボット座標フレームに関連付けられる、第 2 のロボットアームと、を更に備え、

前記プロセッサが、

前記第 2 のロボットアームの運動学に基づいて、前記 E M 場座標フレームと前記ロボット座標フレームとの間の位置合わせを決定するように更に構成されている、実施態様 1 3 2 に記載のシステム。

(1 3 4) 前記第 1 のロボットアーム及び前記第 2 のロボットアームが、前記ロボット座標フレーム内の前記第 1 のロボットアームと前記第 2 のロボットアームとの間の関係を規定するカート又は患者プラットフォームに取り付けられている、実施態様 1 3 3 に記載のシステム。

(1 3 5) 前記 E M 場内で検出可能な E M センサを更に備え、前記プロセッサが、前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の E M センサ位置を決定するように更に構成されている、実施態様 1 3 3 に記載のシステム。

【 0 3 0 5 】

(1 3 6) 前記プロセッサが、

前記超音波プローブの前記撮像面を表示することと、

前記超音波プローブの前記表示された撮像面上に前記決定された E M センサ位置の指示をオーバーレイすることと、を行うように更に構成されている、実施態様 1 3 5 に記載のシステム。

(1 3 7) 方法であって、

超音波プローブを第 1 のロボットアームに結合することであって、前記第 1 のロボットアームが、前記超音波プローブの位置を調整するために移動するように構成され、前記第 1 のロボットアームが、ロボット座標フレームに関連付けられる、結合することと、

前記第 1 のロボットアームを使用して、前記超音波プローブを第 1 の超音波プローブ位置に移動させることと、

前記超音波プローブが前記第 1 の超音波プローブ位置に位置決めされた状態で第 1 の超音波画像を捕捉することと、

前記第 1 のロボットアームを使用して、前記超音波プローブを第 2 の超音波プローブ位置に移動させることと、

前記超音波プローブが前記第 2 の超音波プローブ位置に位置決めされた状態で第 2 の超音波画像を捕捉することと、

前記第 1 のロボットアームを使用して、前記超音波プローブを第 3 の超音波プローブ位

10

20

30

40

50

置に移動させることと、

前記超音波プローブが前記第3の超音波プローブ位置に位置決めされた状態で第3の超音波画像を捕捉することと、

前記ロボット座標フレームに対して前記超音波プローブの撮像面を、

前記第1の超音波画像と、前記超音波プローブが前記第1の超音波プローブ位置にある状態での前記第1のロボットアームの第1の運動学と、

前記第2の超音波画像と、前記超音波プローブが前記第2の超音波プローブ位置にある状態での前記第1のロボットアームの第2の運動学と、

前記第3の超音波画像と、前記超音波プローブが前記第3の超音波プローブ位置にある状態での前記第1のロボットアームの第3の運動学と、に基づいて、校正することと、を含む、方法。

10

(138) 電磁(E M)場発生器を第2のロボットアームに結合することであって、前記E M場発生器が、E M場を発生させるように構成され、前記E M場発生器が、E M座標フレームに関連付けられ、前記第2のロボットアームが、前記E M場発生器の位置を調整するように移動するように構成され、前記第2のロボットアームが、前記ロボット座標フレームに関連付けられる、結合することと、

前記第2のロボットアームの運動学に基づいて、前記E M場座標フレームと前記ロボット座標フレームとの間の位置合わせを決定することと、を更に含む、実施態様137に記載の方法。

(139) 前記第1のロボットアーム及び前記第2のロボットアームが、前記ロボット座標フレーム内の前記第1のロボットアームと前記第2のロボットアームとの間の関係を規定するカート又は患者プラットフォームに取り付けられている、実施態様138に記載の方法。

20

(140) 前記E M場内にE Mセンサを位置決めすることと、

前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内のE Mセンサ位置を決定することと、を更に含む、実施態様138に記載の方法。

【0306】

(141) 前記超音波プローブの前記撮像面を表示することと、

前記決定されたE Mセンサ位置の指示を、前記超音波プローブの前記表示された撮像面上にオーバーレイすることと、を更に含む、実施態様140に記載の方法。

30

(142) ロボット医療システムであって、

第1の撮像デバイスに結合された第1のロボットアームであって、前記第1のロボットアームが、前記第1の撮像デバイスの位置を調整するために移動するように構成され、前記第1のロボットアームが、ロボット座標フレームに関連付けられる、第1のロボットアームと、

前記第1のロボットアーム及び前記第1の撮像デバイスと通信するプロセッサと、を備え、前記プロセッサが、

前記第1のロボットアームを使用して、前記第1の撮像デバイスを第1の位置に移動させることと、

前記第1の撮像デバイスが前記第1の位置に位置決めされた状態で第1の画像を捕捉することと、

40

前記第1のロボットアームを使用して、前記第1の撮像デバイスを第2の位置に移動させることと、

前記第1の撮像デバイスが前記第2の位置に位置決めされた状態で第2の画像を捕捉することと、

前記第1のロボットアームを使用して、前記第1の撮像デバイスを第3の位置に移動させることと、

前記第1の撮像デバイスが前記第3の位置に位置決めされた状態で第3の画像を捕捉することと、

前記ロボット座標フレームに対して前記第1の撮像デバイスを、

50

前記第 1 の画像と、前記第 1 の撮像デバイスが前記第 1 の位置にある状態での前記第 1 のロボットアームの第 1 の運動学と、

前記第 2 の画像と、前記第 1 の撮像デバイスが前記第 2 の位置にある状態での前記第 1 のロボットアームの第 2 の運動学と、

前記第 3 の画像と、前記第 1 の撮像デバイスが前記第 3 の位置にある状態での前記第 1 のロボットアームの第 3 の運動学と、に基づいて、較正することと、を行うように構成されている、システム。

(1 4 3) 第 2 の撮像デバイスに結合された第 2 のロボットアームを更に備え、前記第 2 のロボットアームが、前記第 2 の撮像デバイスの位置を調整するために移動するように構成され、前記第 2 のロボットアームが、前記ロボット座標フレームに関連付けられており、

10

前記プロセッサが、前記第 2 のロボットアーム及び前記第 2 の撮像デバイスと通信し、前記プロセッサが、

前記第 2 のロボットアームを使用して、前記第 2 の撮像デバイスを第 1 の位置に移動させることと、

前記第 2 の撮像デバイスが前記第 1 の位置に位置決めされた状態で第 1 の画像を捕捉することと、

前記第 2 のロボットアームを使用して、前記第 2 の撮像デバイスを第 2 の位置に移動させることと、

前記第 2 の撮像デバイスが前記第 2 の位置に位置決めされた状態で第 2 の画像を捕捉することと、

20

前記第 2 のロボットアームを使用して、前記第 2 の撮像デバイスを第 3 の位置に移動させることと、

前記第 2 の撮像デバイスが前記第 3 の位置に位置決めされた状態で第 3 の画像を捕捉することと、

前記ロボット座標フレームに対して前記第 2 の撮像デバイスを、

前記第 1 の画像と、前記第 2 の撮像デバイスが前記第 1 の位置にある状態での前記第 2 のロボットアームの第 1 の運動学と、

前記第 2 の画像と、前記第 2 の撮像デバイスが前記第 2 の位置にある状態での前記第 2 のロボットアームの第 2 の運動学と、

30

前記第 3 の画像と、前記第 2 の撮像デバイスが前記第 3 の位置にある状態での前記第 2 のロボットアームの第 3 の運動学と、に基づいて、較正することと、を行うように構成されている、実施態様 1 4 2 に記載のシステム。

(1 4 4) 前記第 1 の撮像デバイスが、超音波プローブ、カメラ、又は深度センサのうちの 1 つを備える、実施態様 1 4 2 に記載のシステム。

(1 4 5) 前記第 2 の撮像デバイスが、超音波プローブ、カメラ、又は深度センサのうちの 1 つを備える、実施態様 1 4 4 に記載のシステム。

【 0 3 0 7 】

(1 4 6) 電磁 (E M) 場を発生させるように構成された E M 場発生器であって、前記 E M 場発生器が、E M 座標フレームに関連付けられる、E M 場発生器と、

40

前記 E M 場発生器の位置を調整するために移動するように構成された第 3 のロボットアームであって、前記第 3 のロボットアームが、前記ロボット座標フレームに関連付けられる、第 3 のロボットアームと、を更に備え、

前記プロセッサが、

前記第 3 のロボットアームの運動学に基づいて、前記 E M 場座標フレームと前記ロボット座標フレームとの間の位置合わせを決定するように更に構成されている、実施態様 1 4 3 に記載のシステム。

(1 4 7) 前記 E M 場内で検出可能な E M センサを更に備え、前記プロセッサが、前記位置合わせに基づいて、前記ロボット座標フレーム内の E M センサ位置を決定するように更に構成されている、実施態様 1 4 6 に記載のシステム。

50

(1 4 8) 前記プロセッサが、
前記第 1 の撮像デバイス又は前記第 2 の撮像デバイスからの画像を表示することと、
前記決定された E M センサ位置の指示を前記表示された画像上にオーバーレイすること
と、を行うように更に構成されている、実施態様 1 4 7 に記載のシステム。

【図面】

【図 1】

【図 2】

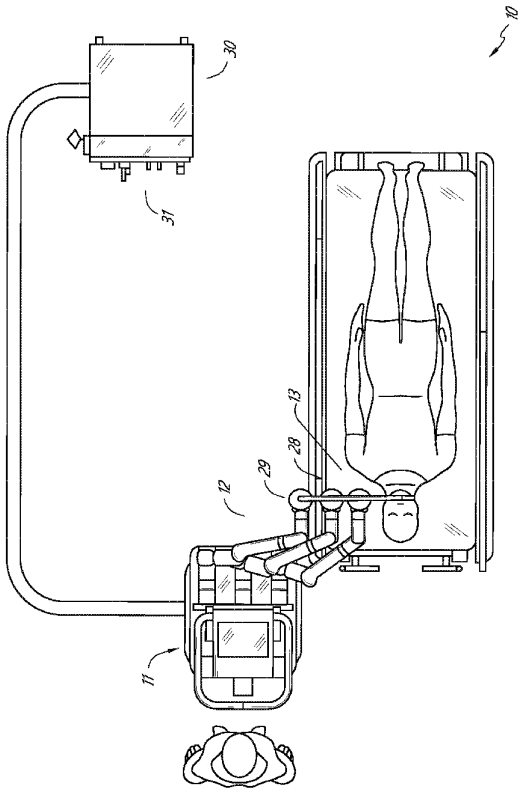


FIG. 1

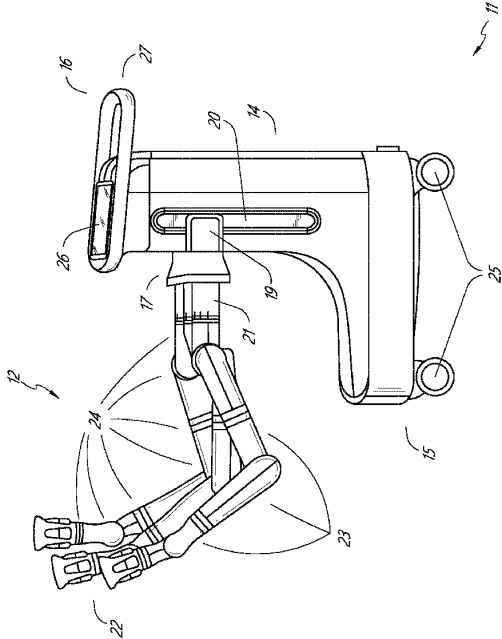


FIG. 2

10

20

30

40

50

【図 3】

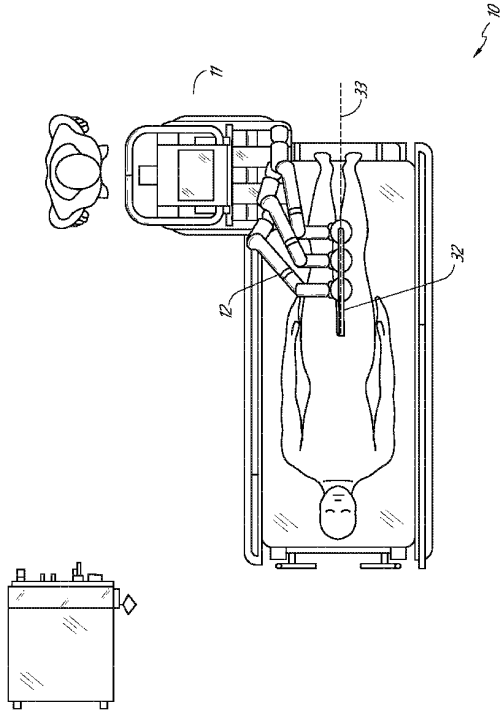


FIG. 3

【図 4】

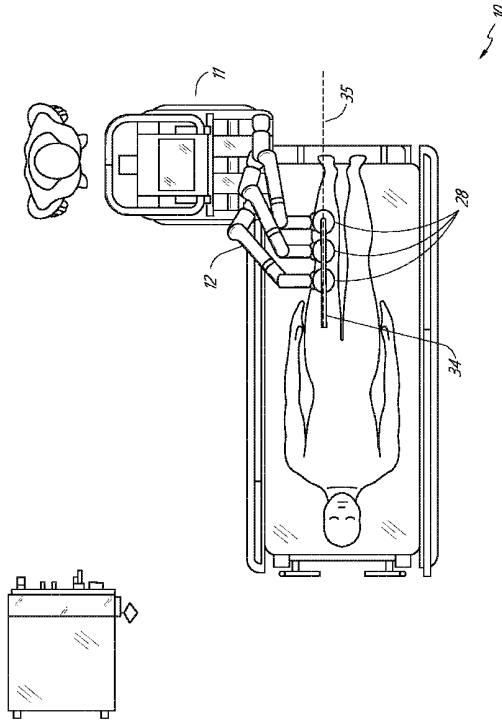


FIG. 4

【図 5】

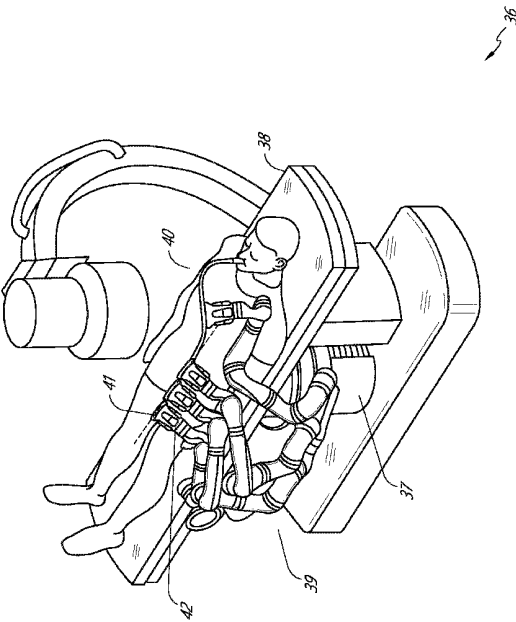


FIG. 5

【図 6】

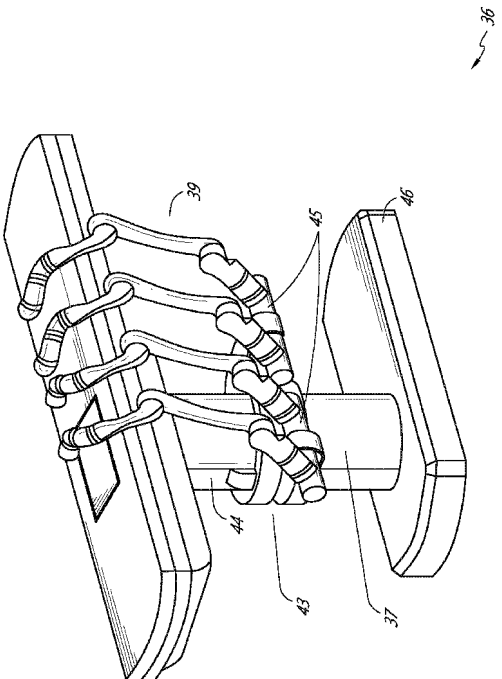


FIG. 6

10

20

30

40

50

【 図 7 】

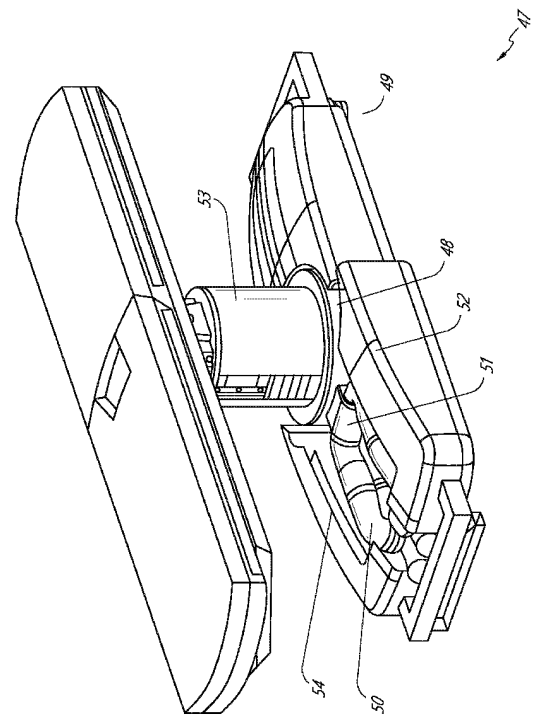


FIG. 7

【 図 8 】

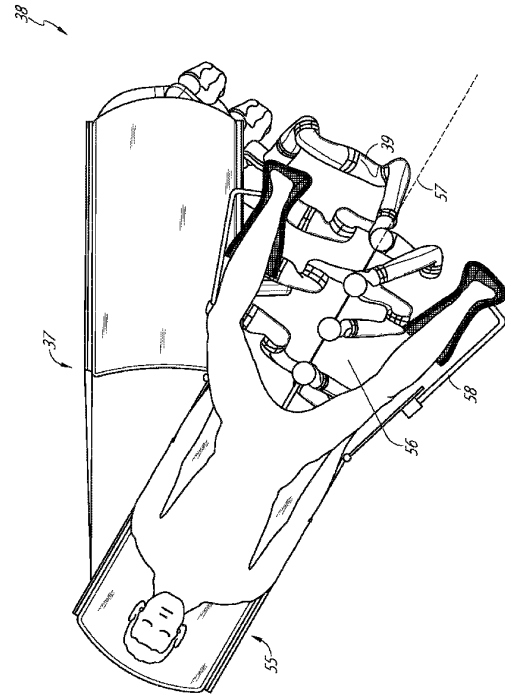


FIG. 8

【 図 9 】

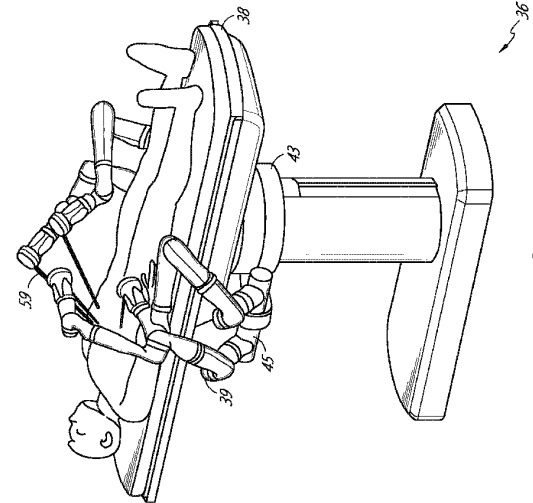


FIG. 9

【 図 10 】

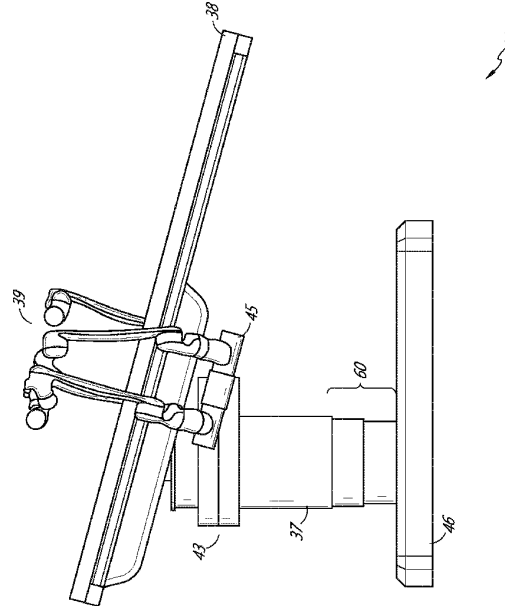


FIG. 10

10

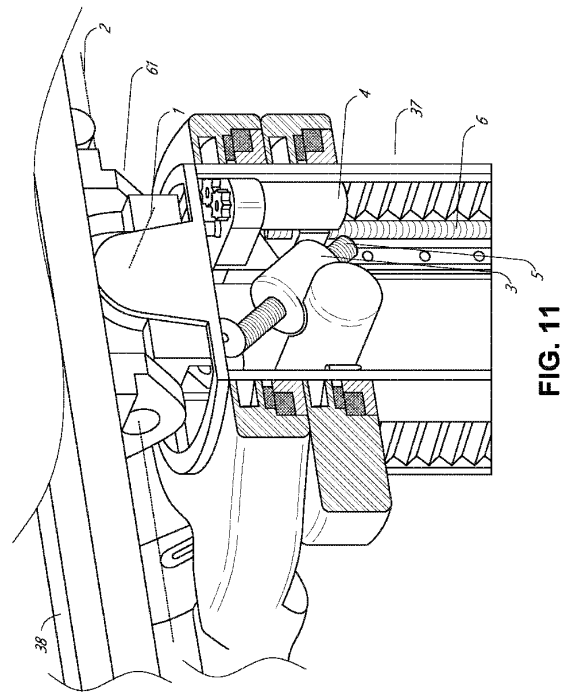
20

30

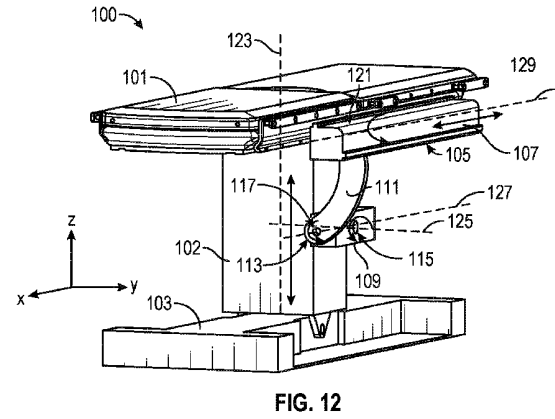
40

50

【図 1 1】



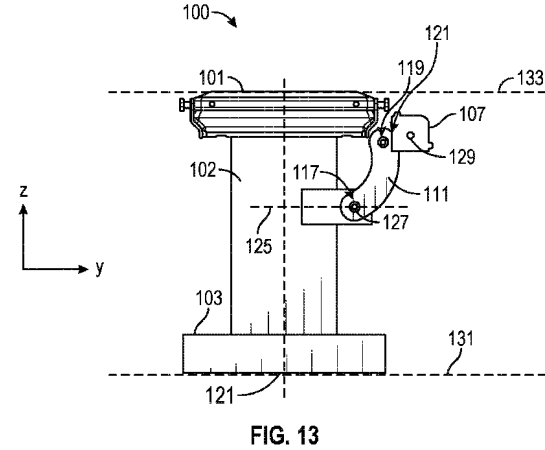
【図 1 2】



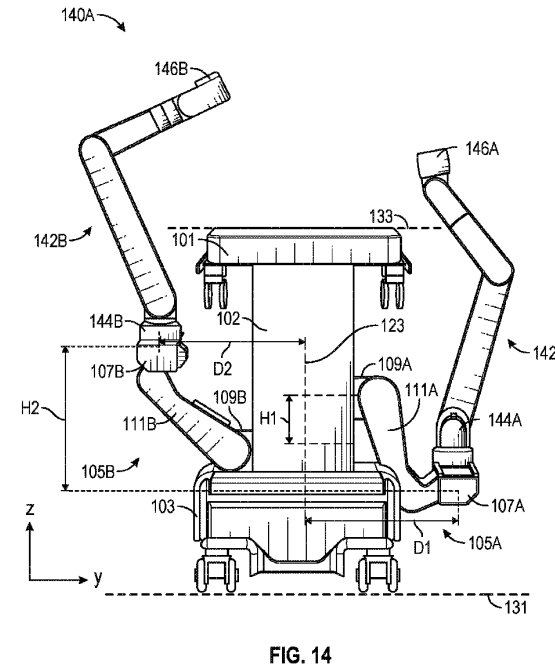
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】



30

40

50

【 図 1 5 】

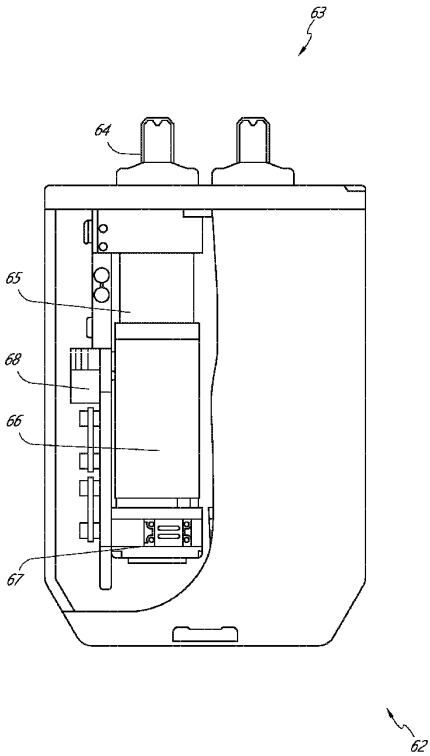


FIG. 15

【 図 1 6 】

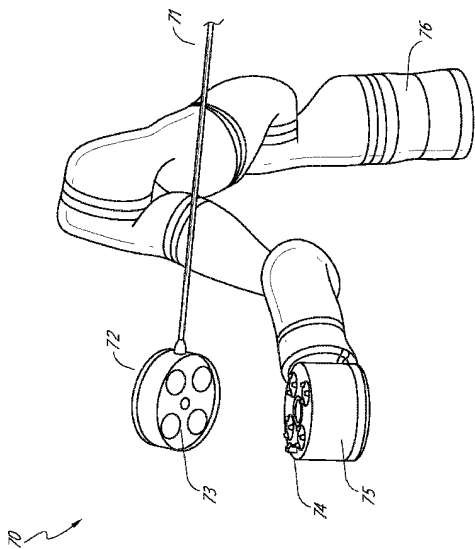


FIG. 16

【 図 1 7 】

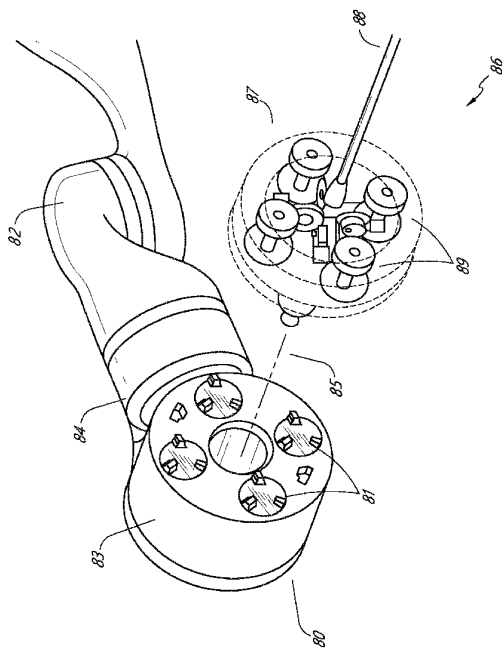


FIG. 17

【 図 1 8 】

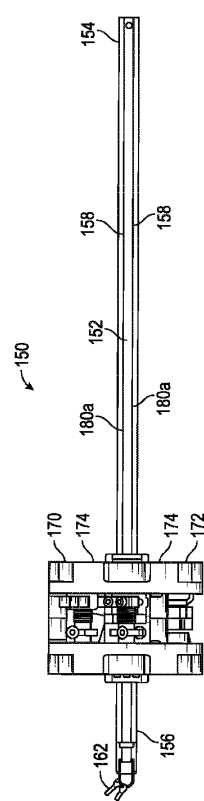


FIG. 18

10

20

30

40

50

【図 19】

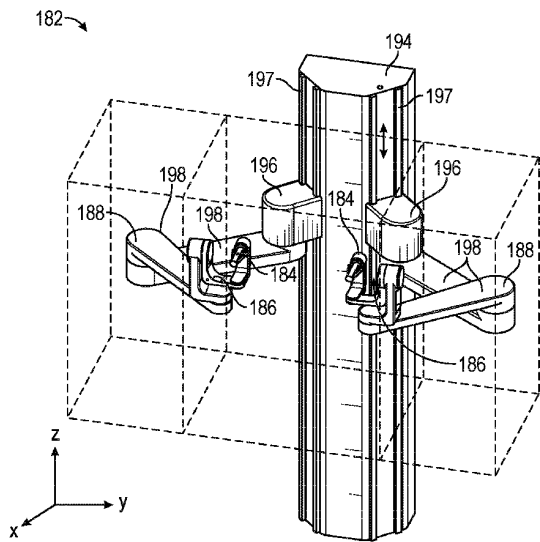


FIG. 19

【図 20】

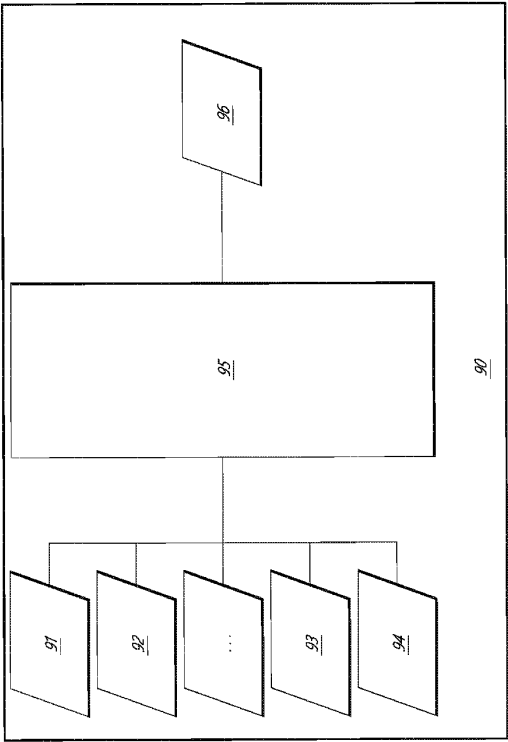


FIG. 20

【図 21】

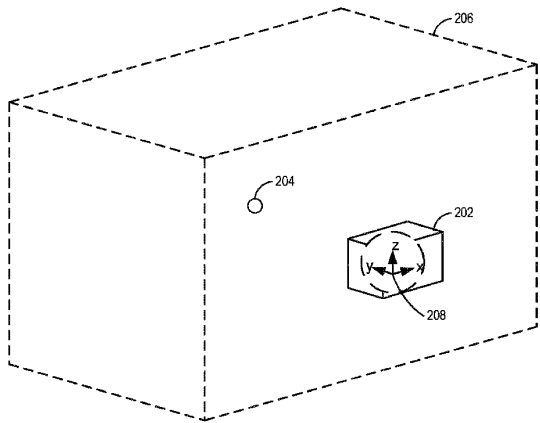


FIG. 21

【図 22 A】

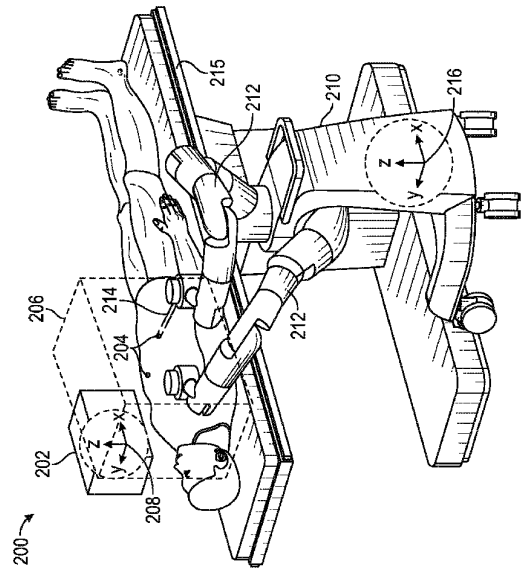


FIG. 22A

10

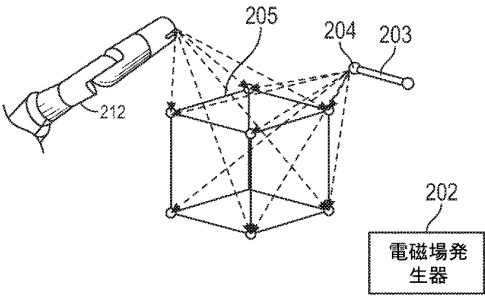
20

30

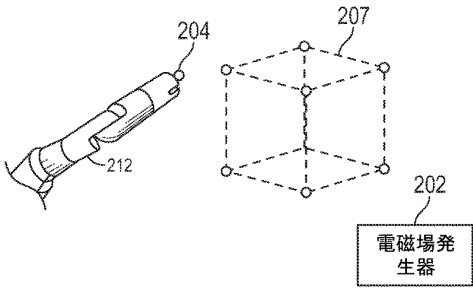
40

50

【図 2 2 B】



【図 2 2 C】



10

【図 2 3】

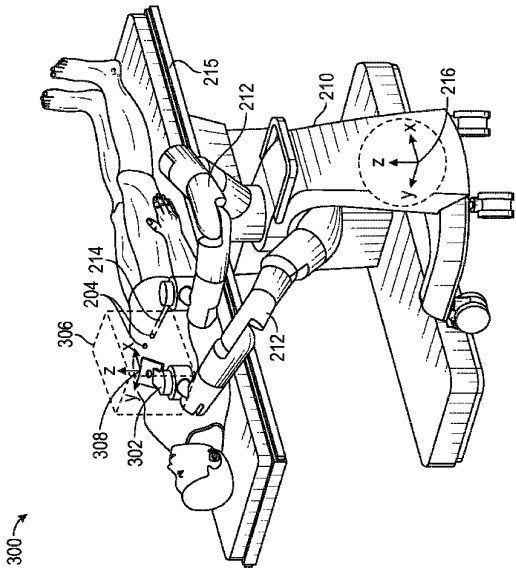


FIG. 23

【図 2 4】

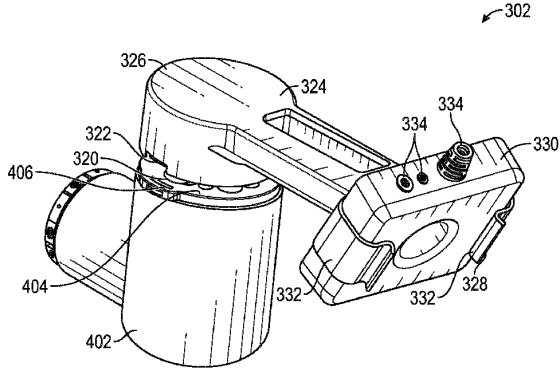


FIG. 24

20

30

40

50

【図 2 5】

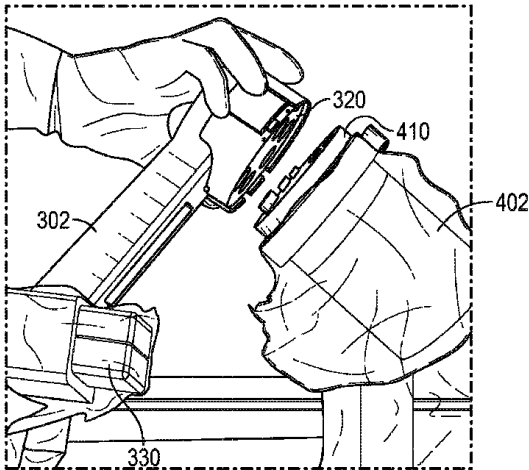
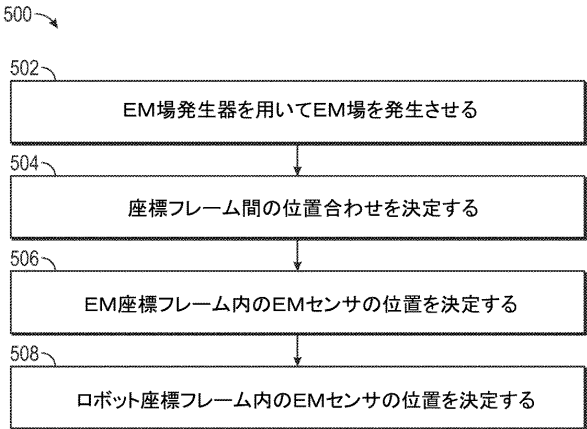


FIG. 25

【図 2 6】



【図 2 7 A】

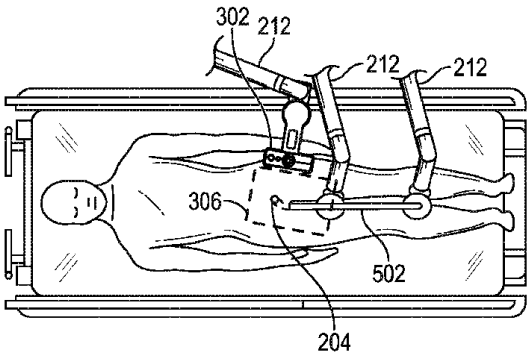


FIG. 27A

【図 2 7 B】

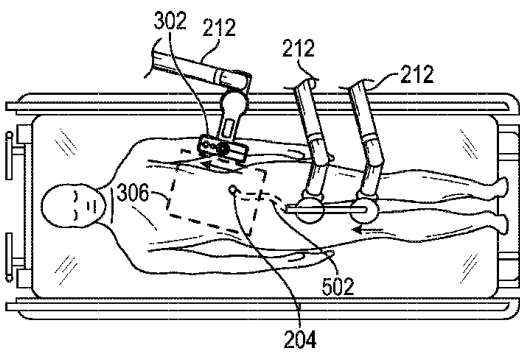


FIG. 27B

10

20

30

40

50

【図 2 8 A】

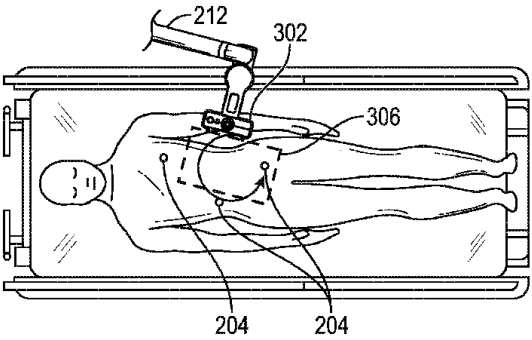


FIG. 28A

【図 2 8 B】

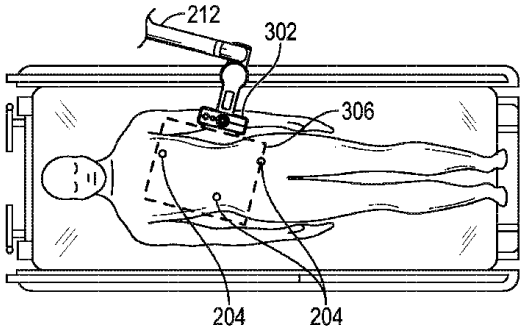
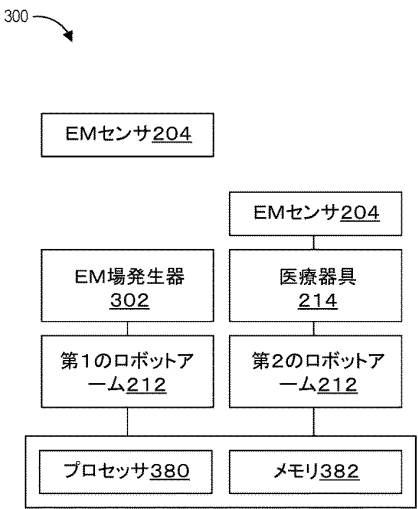


FIG. 28B

10

【図 2 9】



【図 3 0 A】

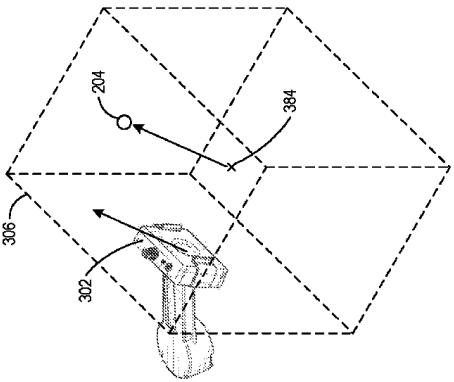


FIG. 30A

20

30

40

50

【図 30 B】

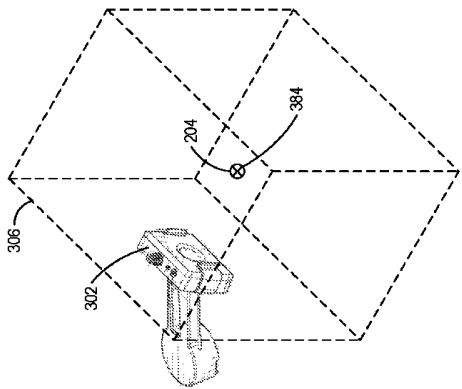


FIG. 30B

【図 31 A】

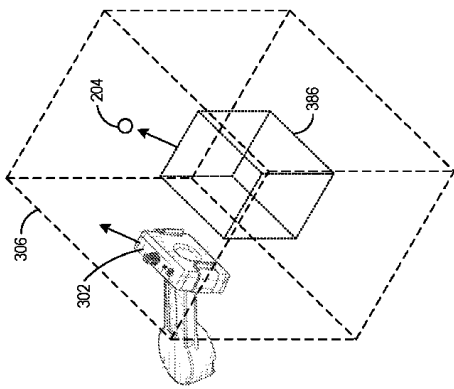


FIG. 31A

【図 31 B】

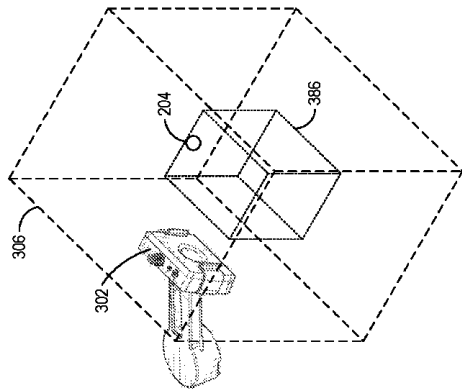


FIG. 31B

【図 32 A】

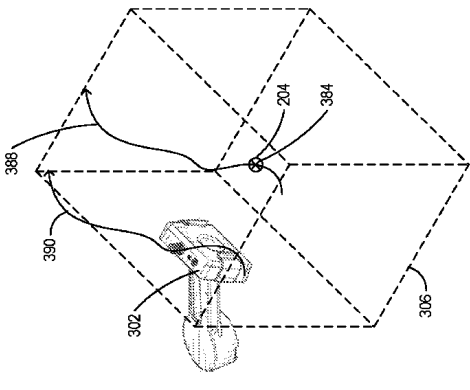


FIG. 32A

10

20

30

40

50

【図 3 2 B】

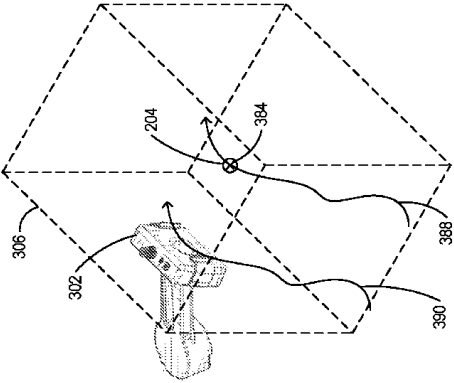


FIG. 32B

【図 3 3 A】

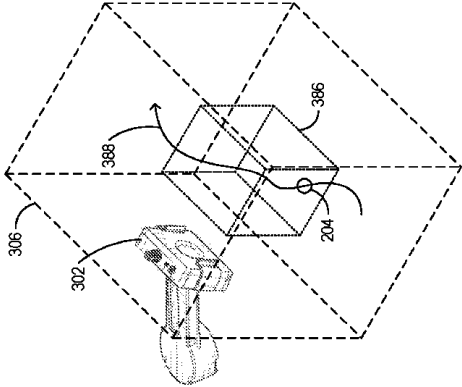


FIG. 33A

【図 3 3 B】

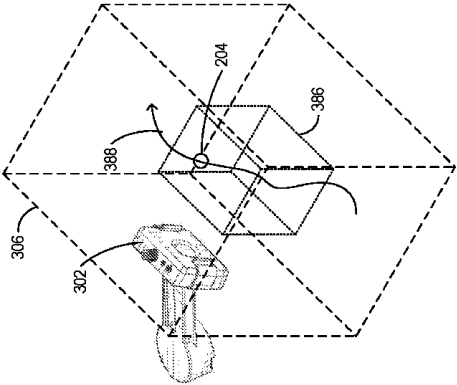


FIG. 33B

【図 3 3 C】

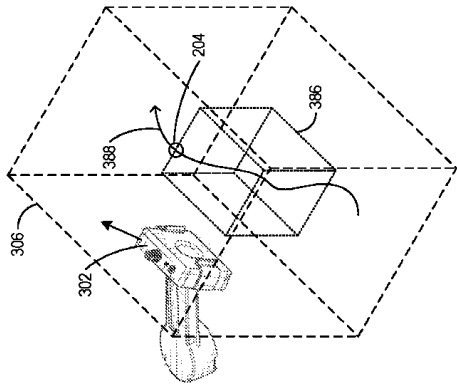


FIG. 33C

10

20

30

40

50

【図 3 3 D】

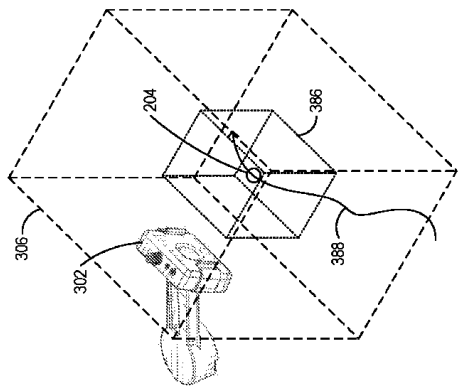
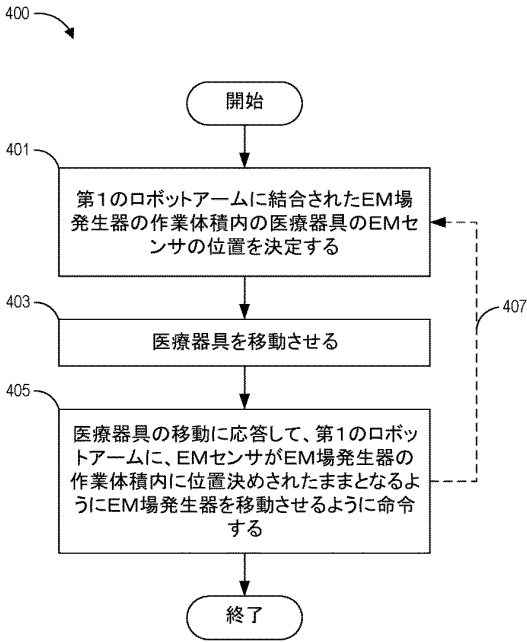


FIG. 33D

【図 3 4】



【図 3 5 A】

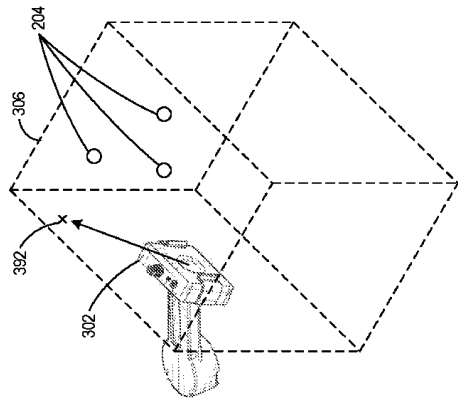


FIG. 35A

【図 3 5 B】

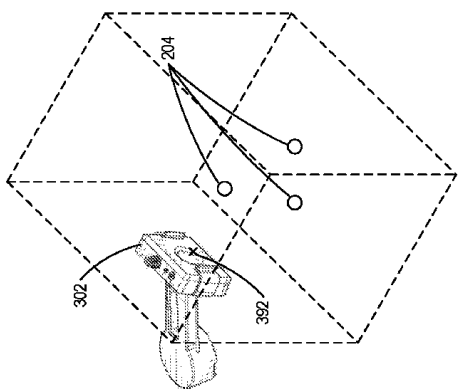


FIG. 35B

10

20

30

40

50

【図 3 6 A】

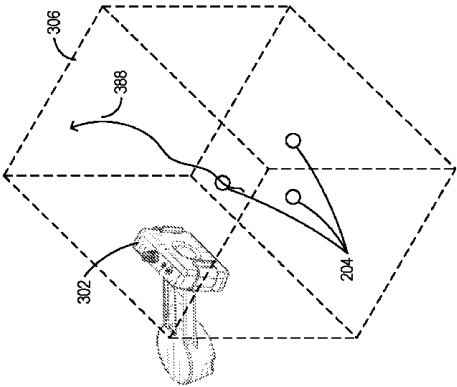


FIG. 36A

【図 3 6 B】

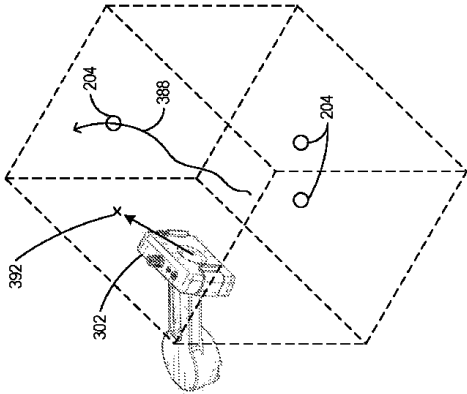


FIG. 36B

【図 3 6 C】

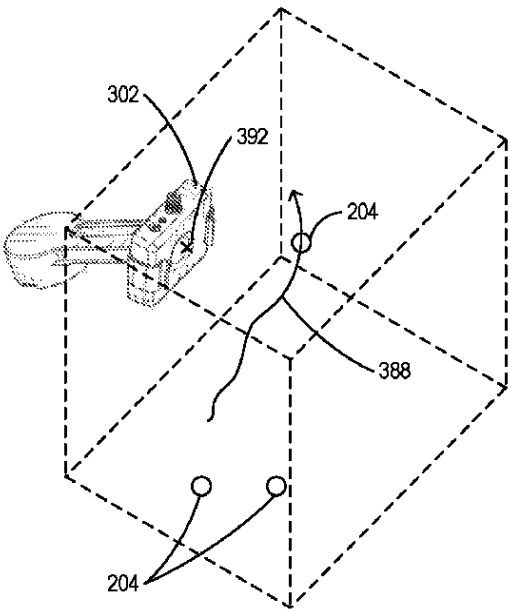
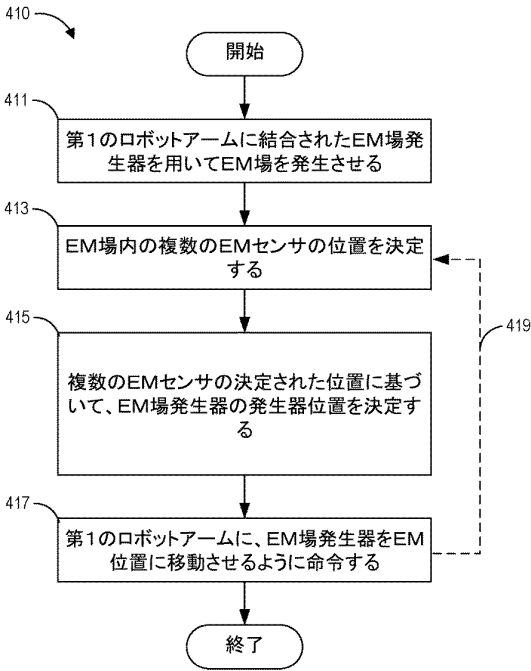


FIG. 36C

【図 3 7】



10

20

30

40

50

【図 38 A】

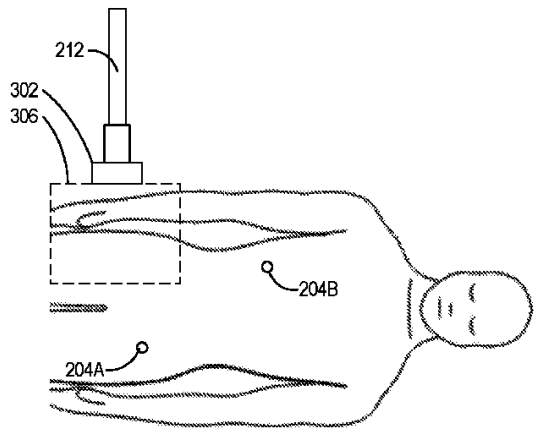


FIG. 38A

【図 38 B】

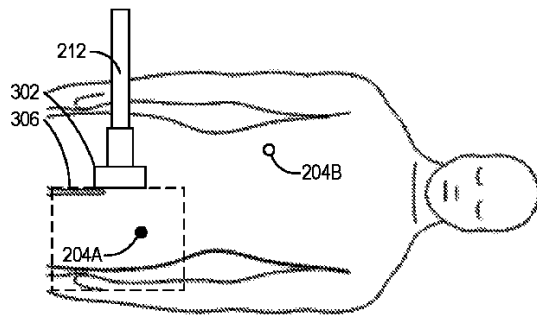


FIG. 38B

【図 38 C】

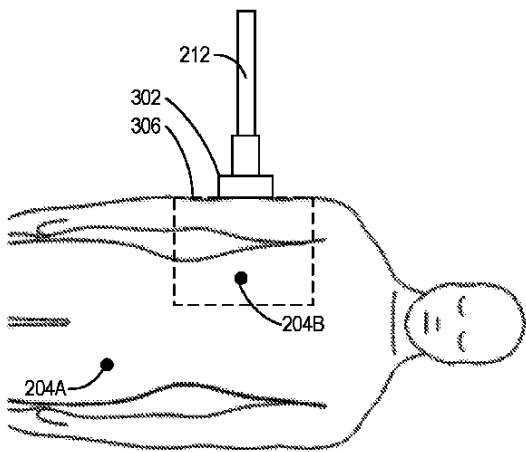


FIG. 38C

【図 39 A】

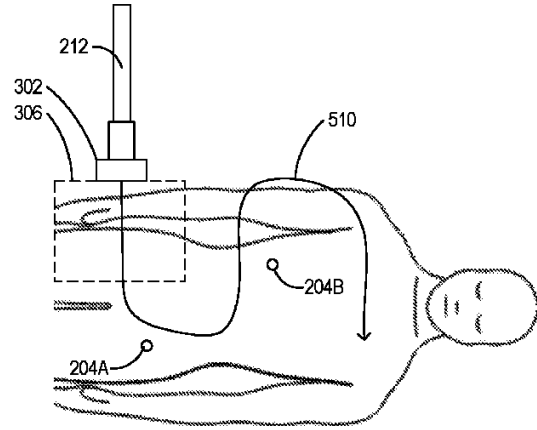


FIG. 39A

10

20

30

40

50

【 図 3 9 B 】

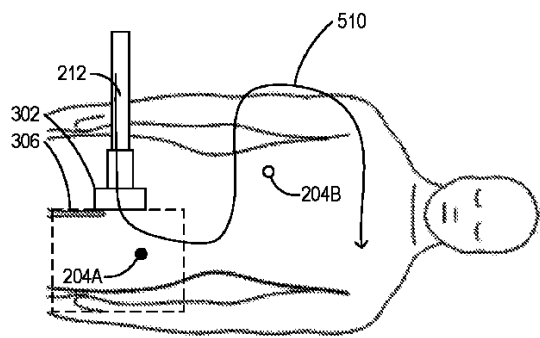


FIG. 39B

【 図 3 9 C 】

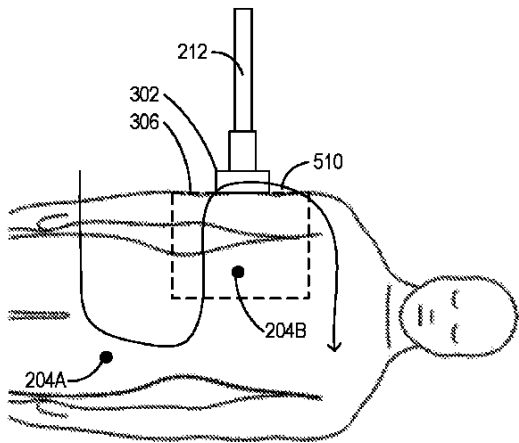


FIG. 39C

【 図 3 9 D 】

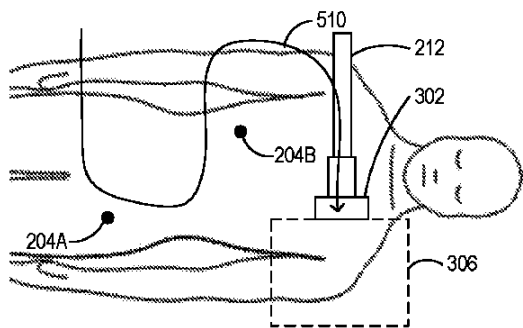


FIG. 39D

【 図 4 0 A 】

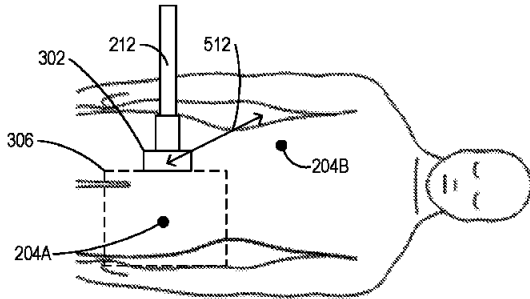


FIG. 40A

10

20

30

40

50

【図 40B】

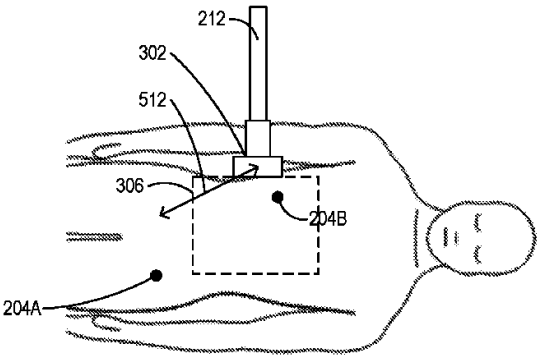


FIG. 40B

【図 40C】

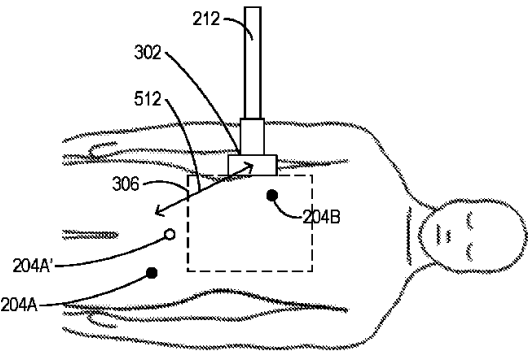


FIG. 40C

【図 40D】

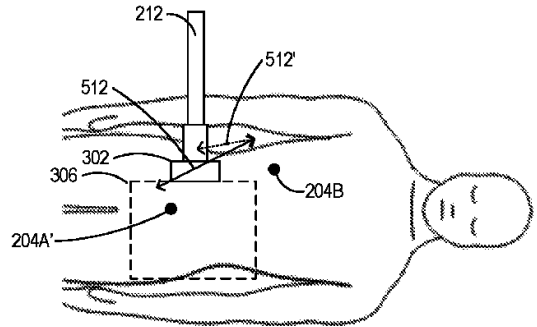
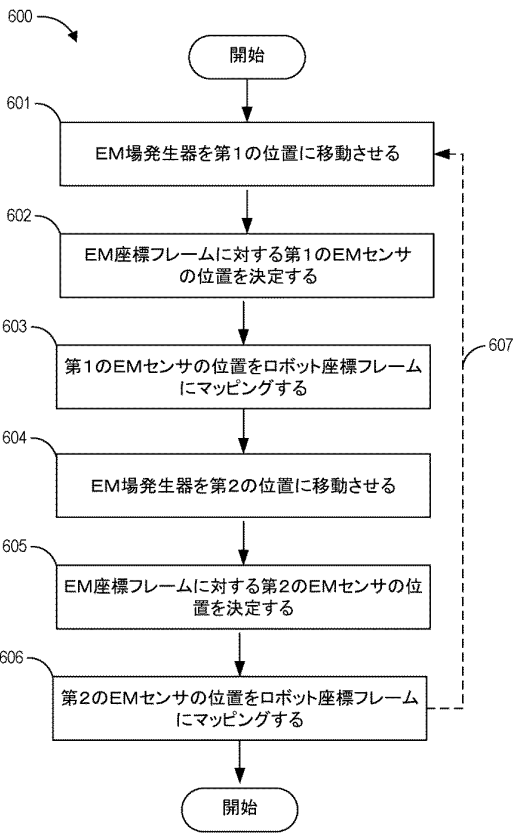


FIG. 40D

【図 41A】



10

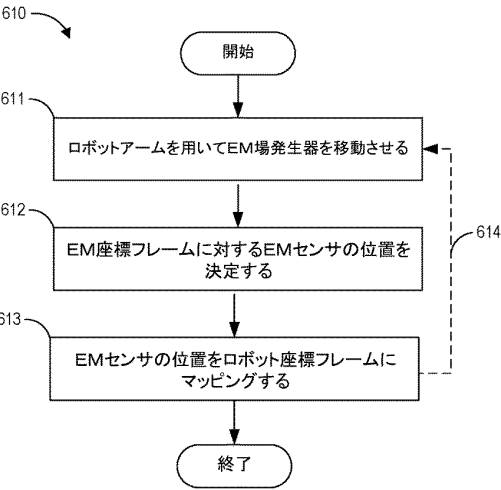
20

30

40

50

【図 4 1 B】



【図 4 2 A】

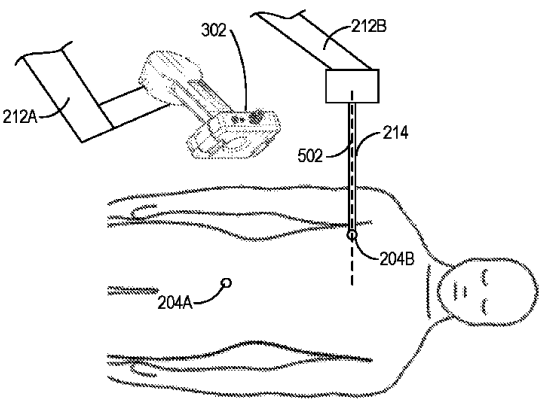


FIG. 42A

【図 4 2 B】

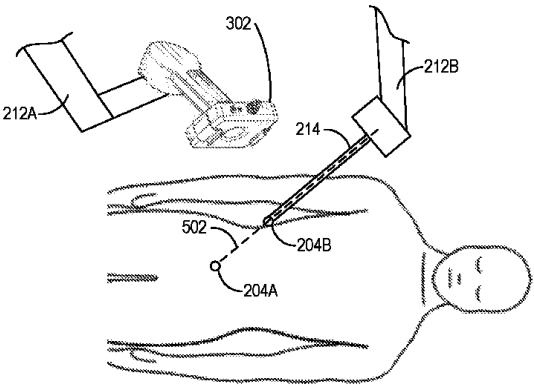


FIG. 42B

【図 4 2 C】

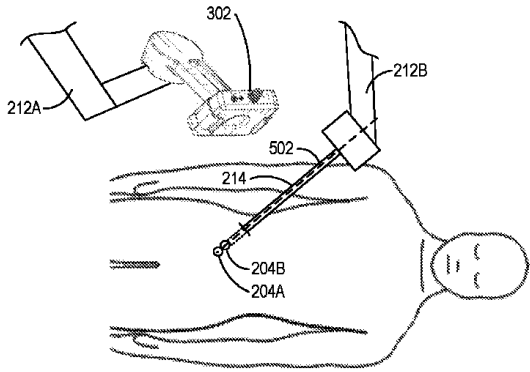


FIG. 42C

10

20

30

40

50

【 図 4 3 A 】

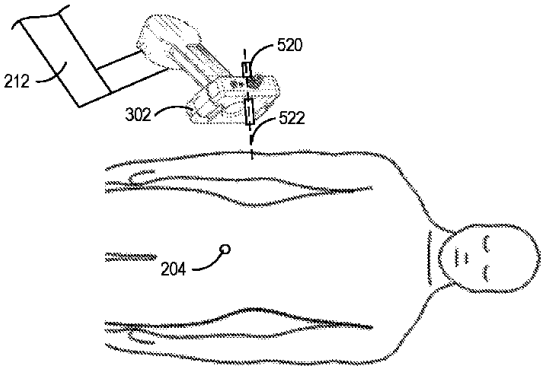


FIG. 43A

【 図 4 3 B 】

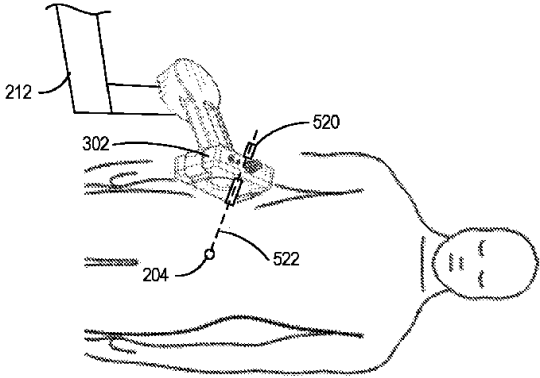


FIG. 43B

10

【 図 4 4 A 】

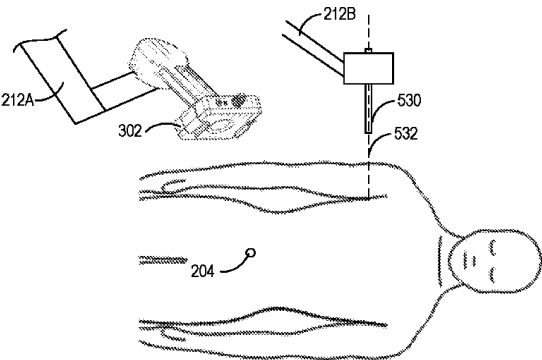


FIG. 44A

【 図 4 4 B 】

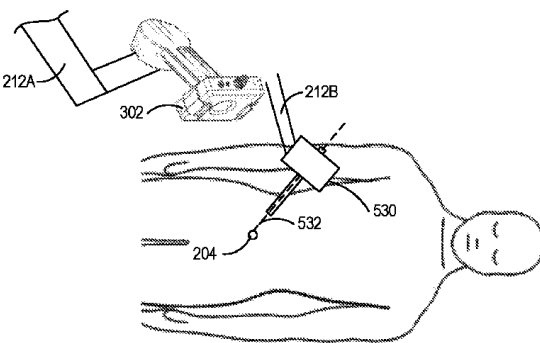


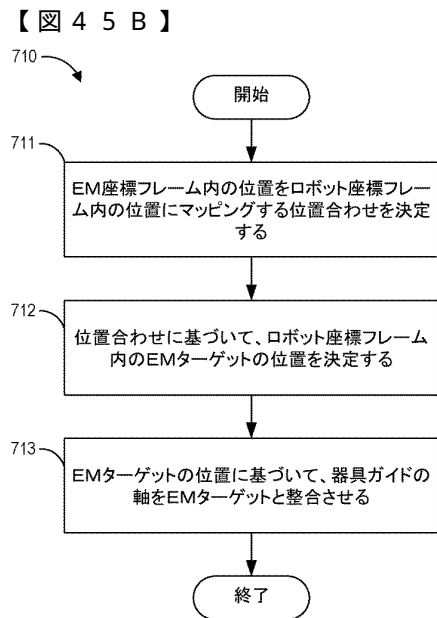
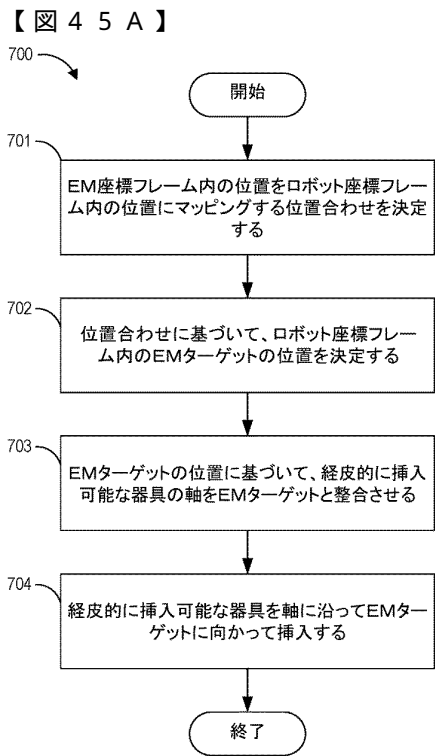
FIG. 44B

20

30

40

50



10

20

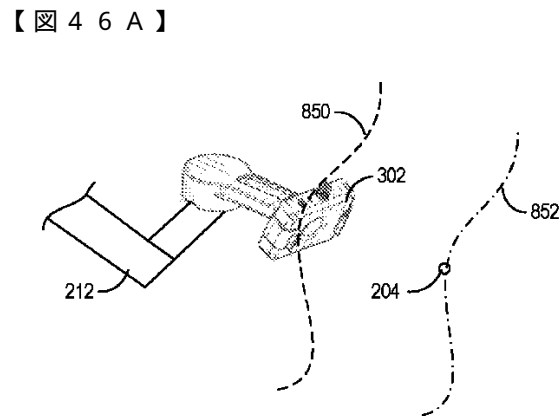


FIG. 46A

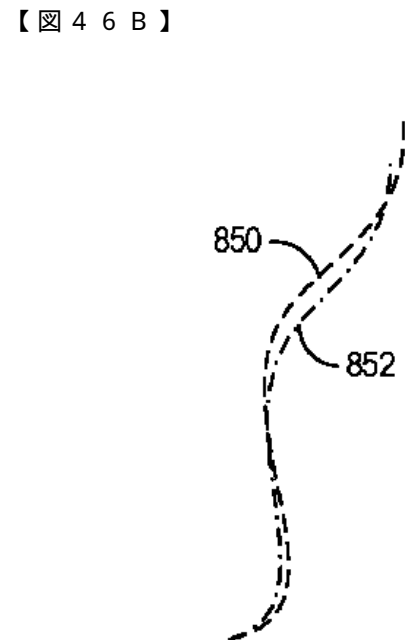


FIG. 46B

30

40

50

【図 46C】

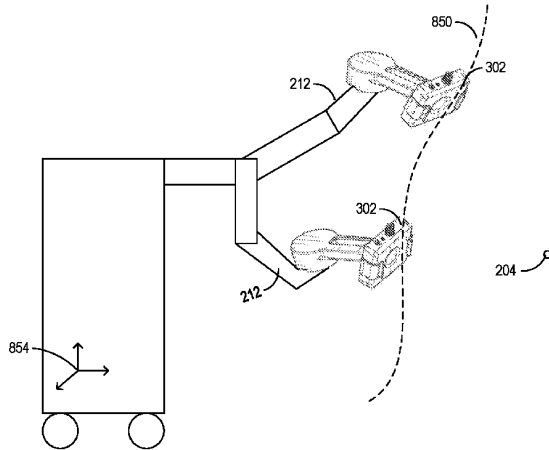
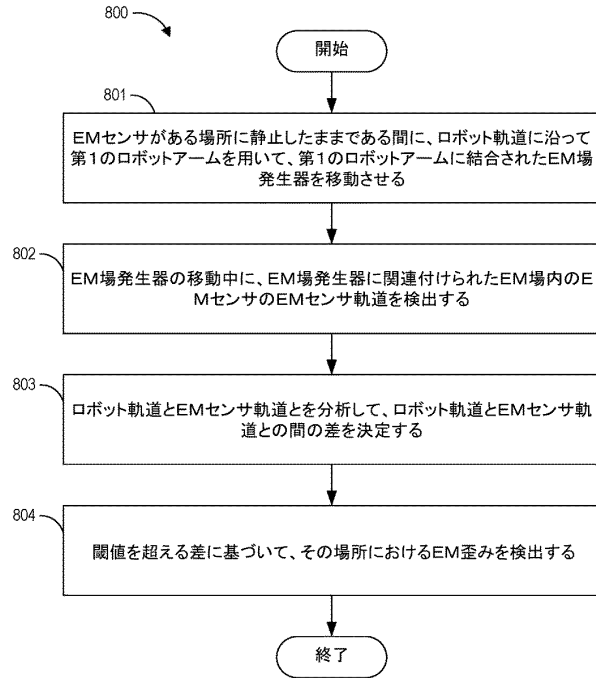
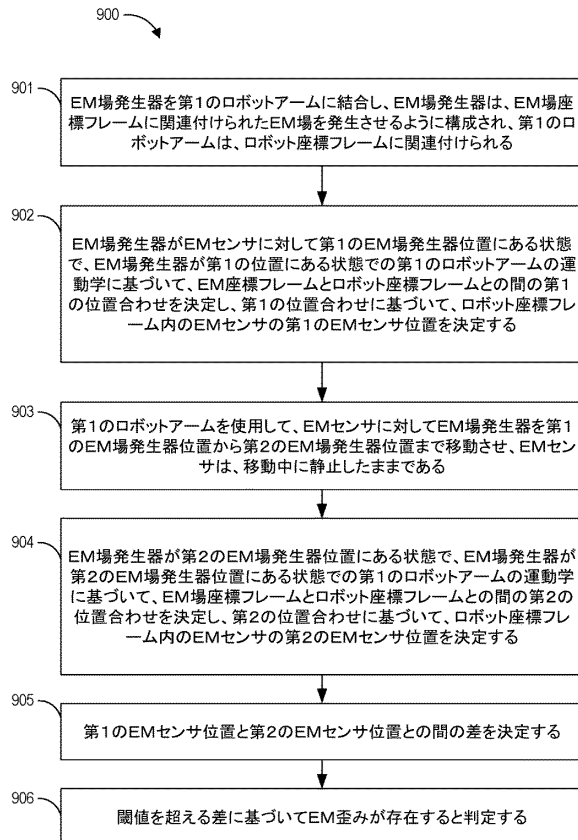


FIG. 46C

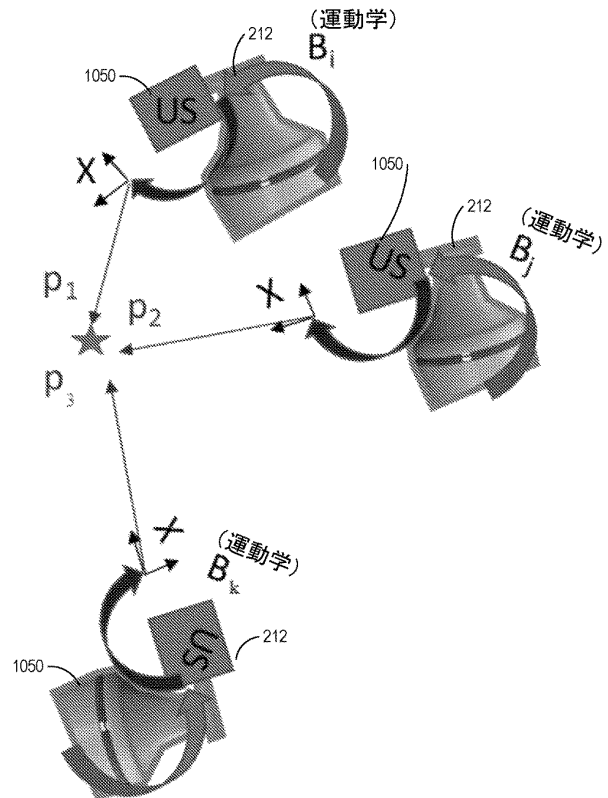
【図 47】



【図 48】



【図 49A】



10

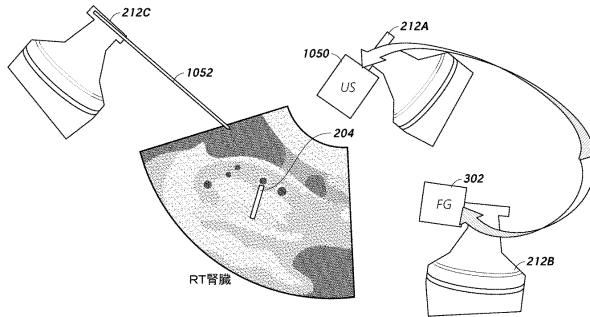
20

30

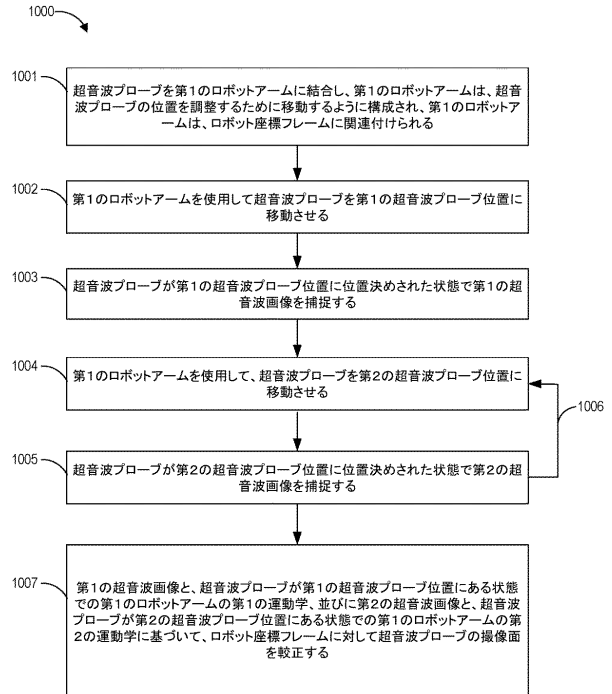
40

50

【図 49 B】



【図 50】



10

20

【図 51 A】

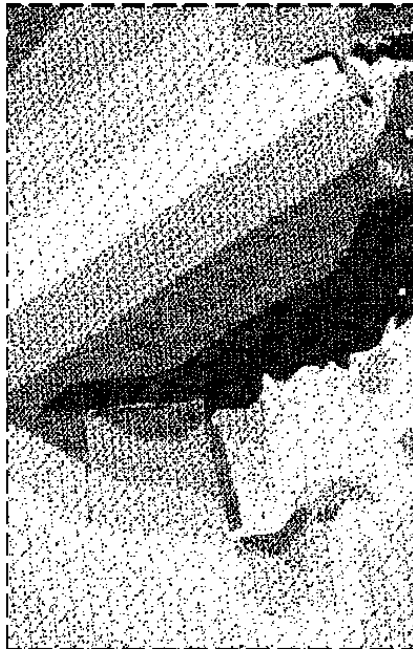


FIG. 51A

【図 51 B】

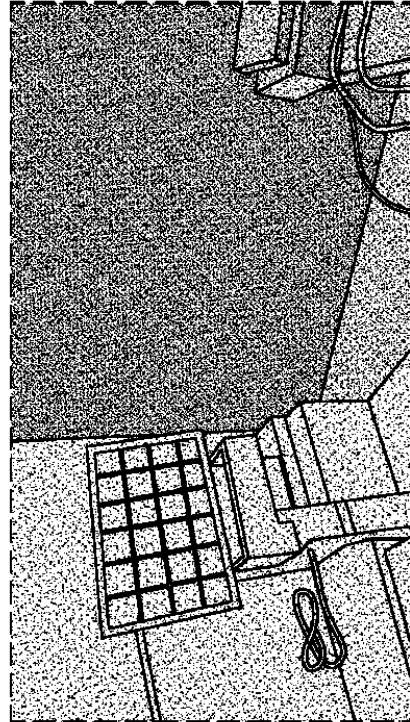


FIG. 51B

30

40

50

【図 51C】

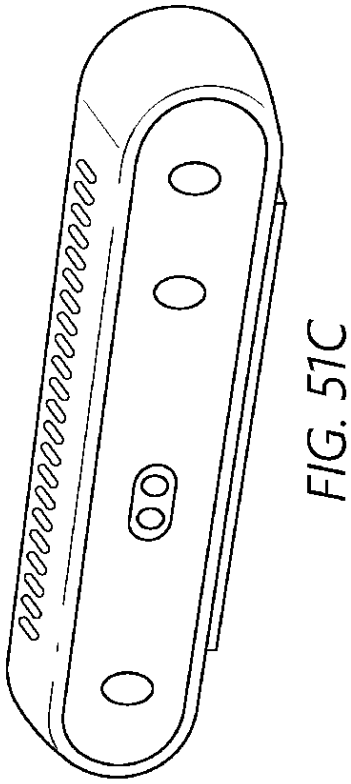


FIG. 51C

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(31)優先権主張番号 63/084,979

(32)優先日 令和2年9月29日(2020.9.29)

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(31)優先権主張番号 63/216,990

(32)優先日 令和3年6月30日(2021.6.30)

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

早期審査対象出願

ルニア州、レッドウッド・シティ、ショアライン・ドライブ 150

(72)発明者 バーマン・デイビッド・バーディック

アメリカ合衆国、94065 カリフォルニア州、レッドウッド・シティ、ショアライン・ドライブ 150

審査官 槻木澤 昌司

(56)参考文献 米国特許出願公開第2019/0000560(US, A1)

米国特許出願公開第2007/0015991(US, A1)

国際公開第2015/166487(WO, A1)

中国特許出願公開第111278380(CN, A)

特表2019-506919(JP, A)

特表2020-526253(JP, A)

特表2022-518764(JP, A)

米国特許出願公開第2019/0000562(US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

A61B 34/00 - 34/37