

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-9389

(P2017-9389A)

(43) 公開日 平成29年1月12日(2017.1.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 2 1 K 1/093 (2006.01)	G 2 1 K 1/093 D	4 C 0 8 2
A 6 1 N 5/10 (2006.01)	A 6 1 N 5/10 H	
G 2 1 K 1/00 (2006.01)	G 2 1 K 1/093 F	
	G 2 1 K 1/00 A	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2015-124144 (P2015-124144)	(71) 出願人	000003078
(22) 出願日	平成27年6月19日 (2015. 6. 19)		株式会社東芝
			東京都港区芝浦一丁目1番1号
		(74) 代理人	110001380
			特許業務法人東京国際特許事務所
		(72) 発明者	高山 茂貴
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
			東芝内
		(72) 発明者	折笠 朝文
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
			東芝内
		(72) 発明者	長本 義史
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
			東芝内

最終頁に続く

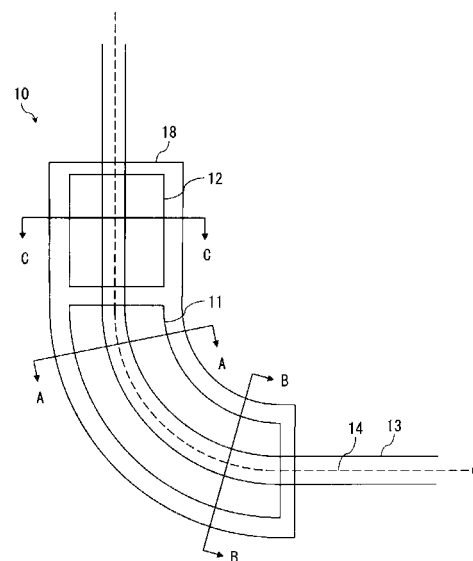
(54) 【発明の名称】 粒子線ビームの制御電磁石及びこれを備えた照射治療装置

(57) 【要約】

【課題】粒子線ビームの輸送路を短尺化することができる粒子線ビームの制御電磁石、及びこの制御電磁石を支持する回転ガントリの小型化及び軽量化に貢献する照射治療装置を提供する。

【解決手段】粒子線ビームの制御電磁石10において、真空ダクト13の内側を通過する粒子線ビーム14の進行方向を曲げる偏向磁場及び粒子線ビーム14の外径を制御する収束磁場のうち少なくとも一方を形成する第一超電導コイル群11と、粒子線ビーム14の軌道上における第一超電導コイル群11の端部に配置され、粒子線ビームの軌道のズレを補正する補正磁場を形成する第二超電導コイル群12と、第一超電導コイル群11、第二超電導コイル群12及びこれらに接する冷却媒体を共に密閉収容し外気から断熱する断熱容器18と、を備えている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

真空ダクトの内側を通過する粒子線ビームの進行方向を曲げる偏向磁場及び前記粒子線ビームの外径を制御する収束磁場のうち少なくとも一方を形成する第一超電導コイル群と、

前記粒子線ビームの軌道上における前記第一超電導コイル群の端部に配置され、前記粒子線ビームの軌道のズレを補正する補正磁場を形成する第二超電導コイル群と、

前記第一超電導コイル群、第二超電導コイル群及びこれらに接する冷却媒体を共に密閉収容し外気から断熱する断熱容器と、を備えることを特徴とする粒子線ビームの制御電磁石。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の粒子線ビームの制御電磁石において、

前記第一超電導コイル群は、

前記偏向磁場を形成する偏向コイルと、前記収束磁場を形成する収束コイルと、が同軸に積層して構成されていることを特徴とする粒子線ビームの制御電磁石。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の粒子線ビームの制御電磁石において、

前記収束コイル及び前記第二超電導コイル群が前記真空ダクトに対向する第一層を形成し、前記偏向コイルが前記第一層の上に積層する第二層を形成していることを特徴とする粒子線ビームの制御電磁石。

20

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の粒子線ビームの制御電磁石において、

前記第二超電導コイル群は、

前記粒子線ビームの進行方向に直交する方向に 1 次補正磁場を形成する 1 次補正コイルと、

前記粒子線ビームの進行方向及び第 1 補正磁場に直交する方向に 2 次補正磁場を形成する 2 次補正コイルと、を有することを特徴とする粒子線ビームの制御電磁石。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の粒子線ビームの制御電磁石において、

前記 1 次補正コイル及び前記 2 次補正磁場は、同軸に積層して配置されていることを特徴とする粒子線ビームの制御電磁石。

30

【請求項 6】

請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の粒子線ビームの制御電磁石と、

前記制御電磁石を支持するとともに中心軸を中心として回転し前記粒子線ビームを前記中心軸に対し直交する方向に照射させる回転ガントリと、

照射された前記粒子線ビームに対し、載置した患者を移動して位置合わせするベッドと、を備えることを特徴とする照射治療装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

40

本発明の実施形態は、通過する粒子線ビームの制御電磁石及びこれを備えた照射治療装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

炭素イオン等の粒子線ビームを、患者の病巣組織（がん）に照射して、治療を行う粒子線治療技術が注目されている。

この粒子線治療技術によれば、正常組織にダメージを与えず、病巣組織のみをピンポイントで死滅させることができるため、手術や投薬治療等に比べ、患者への負担が少なく、治療後の社会復帰の早期化も期待できる。

【0003】

50

初期の照射治療装置は、粒子線ビームの照射部が固定され、ターゲットに対して一方のみから照射が可能である固定方式が主流であった。

近年、より効果的な治療を施すことを目的とし、粒子線ビームの照射部を回転させ、病巣組織の形状や体内深度に応じ、最適な線量値及び線量分布を病巣組織に付与する回転方式が脚光を浴びている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2011-72717号公報

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

回転方式の照射治療装置においては、病巣組織への照射の正確性を期するために、粒子線ビームの照射部を支持する回転ガントリの高精度な回転制御が要求される。

また粒子線ビームの軌道は、回転ガントリの外部からその回転軸に沿って導かれ、回転ガントリの外側を一旦抜け出した後に、再び回転ガントリの内部に向けて半径方向に射出するように曲げられる。

【0006】

そのような粒子線ビームの軌道を制御する輸送路は、ビームの収束・発散を制御する四極電磁石（収束電磁石）、ビーム軌道を曲げる偏向電磁石、及びビーム軌道のズレを補正するステアリング電磁石等を順次配列させて構成している。

20

このように長尺化された輸送路を支持する回転ガントリは、大型化が避けられず、大型化した回転ガントリは、回転の制御性が悪化し、粒子線ビームの照射精度を低下させる懸念がある。

【0007】

本発明の実施形態は上記事情に鑑みてなされたもので、粒子線ビームの輸送路を短尺化することができる粒子線ビームの制御電磁石、及びこの制御電磁石を支持する回転ガントリの小型化及び軽量化に貢献する照射治療装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

30

実施形態に係る粒子線ビームの制御電磁石において、粒子線ビームを内側に通過させる真空ダクトと、前記粒子線ビームの進行方向を曲げる偏向磁場及び前記粒子線ビームの外径を制御する収束磁場のうち少なくとも一方を形成する第一超電導コイルと、前記粒子線ビームの進行方向に対して前記第一超電導コイルの端部に配置されるとともに前記粒子線ビームの軌道のズレを補正する補正磁場を形成する第二超電導コイルと、前記第一超電導コイル、第二超電導コイル及びこれらに接する冷却媒体を共に収容して外気から断熱する断熱容器と、を備えることを特徴とする。

【0009】

さらに実施形態に係る照射治療装置において、前記粒子線ビームの制御電磁石と、前記制御電磁石を支持するとともに中心軸を中心として回転し前記粒子線ビームを前記中心軸に対し直交する方向に照射させる回転ガントリと、照射された前記粒子線ビームに対し、載置した患者を移動して位置合わせするベッドと、を備えることを特徴とする。

40

【発明の効果】

【0010】

本発明の実施形態により、粒子線ビームの輸送路を短尺化することができる粒子線ビームの制御電磁石、及びこの制御電磁石を支持する回転ガントリの小型化及び軽量化に貢献する照射治療装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の実施形態に係る粒子線ビームの制御電磁石の外観図。

50

【図 2】図 1 に示される第一超電導コイル群の A - A 断面図。

【図 3】図 1 に示される第二超電導コイル群（ステアリング磁石）の C - C 断面図。

【図 4】実施形態に係る粒子線ビームの制御電磁石を構成する第一超電導コイル群及び第二超電導コイル群を直線状に展開した分解図。

【図 5】他の実施形態に係る粒子線ビームの制御電磁石を構成する第一超電導コイル群及び第二超電導コイル群を直線状に展開した分解図。

【図 6】断熱容器を直線状に展開した分解図。

【図 7】本発明の実施形態に係る照射治療装置の断面図。

【発明を実施するための形態】

【0012】

10

以下、本発明の実施形態に係る粒子線ビームの制御電磁石を添付図面に基づいて説明する。なお、図面において、粒子線ビームの進行方向を s 方向、この s 方向に対し相互に直交する方向を x 方向及び y 方向と定義する。

【0013】

図 1 に示すように、粒子線ビームの制御電磁石 10 は、真空ダクト 13 の内側を通過する粒子線ビーム 14 の進行方向を曲げる偏向磁場 15（図 2）及び粒子線ビーム 14 の外径を制御する収束磁場 16（図 2）のうち少なくとも一方を形成する第一超電導コイル群 11 と、粒子線ビーム 14 の軌道上における第一超電導コイル群 11 の端部に配置され粒子線ビーム 14 の軌道のズレを補正する補正磁場 17（ $17x$ ， $17y$ ）（図 3）を形成する第二超電導コイル群 12 と、第一超電導コイル群 11、第二超電導コイル群 12 及びこれらに接する冷却媒体（図示略）を共に密閉収容し外気から断熱する断熱容器 18 と、を備えている。

20

【0014】

真空ダクト 13 は、治療に用いる炭素イオン、負パイ中間子、陽子、ヘリウムイオン、ネオンイオン、シリコンイオン、またはアルゴンイオン等の粒子線ビーム 14 を生成するイオン発生源や、上記粒子線ビーム 14 を加速する線形加速器、シンクロトロン、サイクロトロン、FFAG 加速器などの加速装置（図示略）、また、この加速装置から出射された粒子線ビーム 14 をターゲット（図 7 の患者 53）まで輸送する輸送システム（図示略）を構成するものである。

このため、真空ダクト 13 は、粒子線ビーム 14 の発生源からターゲットまで、粒子線ビーム 14 を通過させるのに十分な真空度を有する密閉された連続空間である。

30

【0015】

冷却媒体は、超電導現象を発現する臨界温度以下まで超電導コイルを冷却するもので、液体窒素や液体ヘリウム等の液体媒体や、冷凍機により発生した冷熱を超電導コイルまで熱伝導させる固体媒体等が挙げられる。

【0016】

図 2 は、図 1 に示される第一超電導コイル群 11 の A - A 断面図である。

このように第一超電導コイル群 11 は、偏向磁場 15 を形成する偏向コイル 31（ $31a$ ， $31b$ ）と、収束磁場 16 を形成する収束コイル 32（ $32a$ ， $32b$ ， $32c$ ， $32d$ ）と、が同軸に積層して構成されている。

40

なお、図示を省略しているが、第一超電導コイル群 11（図 1）の B - B 断面には、A - A 断面とは別個に、図 2 に示される収束コイル 32 を 90° 軸周りに回転させたものが配置されている。つまり、A - A 断面に配置される収束コイル 32 と、B - B 断面に配置される収束コイル 32 とは、構造が同一で電流の方向が逆転している。

【0017】

偏向コイル 31（ $31a$ ， $31b$ ）は、対向する二つの励磁コイルから成り、その間を通過する粒子線ビームの進行方向を偏向磁場 15 の作用で曲げて、軌道を円弧状にすることができる。そして、偏向コイル 31 を通過した粒子線ビームを、接線方向に直進させる。

なお実施形態において、偏向コイル 31 は、対向する 2 個の励磁コイルから構成される

50

ものを例示しているが、それ以外の数の励磁コイルで構成される場合もある。

【 0 0 1 8 】

収束コイル 3 2 (3 2 a , 3 2 b , 3 2 c , 3 2 d) は、軸対称に配置される 4 個の励磁コイルから構成され、内部ギャップに、実線の矢印で示した収束磁場 1 6 を生させる。

なお実施形態において、収束コイル 3 2 として 4 個の励磁コイルから構成されるものを例示しているが、それ以外の数の励磁コイルで構成される場合もある。特に対向する偶数個 (6 個) の励磁コイルで構成される場合もある。

【 0 0 1 9 】

収束コイル 3 2 を通過する粒子線ビームにおいて、x 軸上の q 1 に位置する荷電粒子は、中心方向へのローレンツ力が働く一方で、y 軸上の q 2 に位置する荷電粒子は、外方向へのローレンツ力が働く。すなわち、A - A 断面の収束コイル 3 2 は、粒子線ビームを x 軸方向に収束させ、y 軸方向に発散させる。そして B - B 断面の収束コイル 3 2 では、ビームの収束・発散させる方向が逆転して、粒子線ビームを y 軸方向に収束させ、x 軸方向に発散させる。

【 0 0 2 0 】

そして、ビームを収束・発散させる強さは、収束コイル 3 2 に印加される直流電流の強度により制御することができる。

このように、極性を逆転させた収束コイル 3 2 を複数配列し、各々印加する直流電流を制御することにより、粒子線ビームのビーム径の発散を防止しビーム径を所望する大きさに制御することができる。

なお実施形態において、極性の異なる 2 個の四極コイル 3 2 から構成されるものを例示しているが、1 個または 3 個以上の四極コイル 3 2 で構成される場合もある。

【 0 0 2 1 】

図 3 は、図 1 に示される第二超電導コイル群 1 2 (ステアリング磁石) の C - C 断面図である。

このように第二超電導コイル群 1 2 は、粒子線ビームの進行方向に直交する方向 (x 軸方向) に 1 次補正磁場 1 7 x を形成する 1 次補正コイル 2 1 (2 1 a , 2 1 b) と、粒子線ビームの進行方向及び第 1 補正磁場 1 7 x に直交する方向 (y 軸方向) に 2 次補正磁場 1 7 y を形成する 2 次補正コイル 2 2 (2 2 a , 2 2 b) と、を有している。

【 0 0 2 2 】

1 次補正コイル 2 1 及び 2 次補正コイル 2 2 のそれぞれは、偏向コイル 3 1 と同様に二つの励磁コイルを対向配置した構成を有する。

第二超電導コイル群 1 2 の役割は、第一超電導コイル群 1 1 の据付誤差により生ずる誤差磁場、または第一超電導コイル群 1 1 やその他の励磁コイルの個体差等により生ずる誤差磁場に起因する粒子線ビームの軌道のズレを補正することである。

1 次補正コイル 2 1 が形成する第 1 補正磁場 1 7 x 及び 2 次補正コイル 2 2 が形成する 2 次補正磁場 1 7 y のそれぞれは、粒子線ビームの軌道のズレの y 成分及び x 成分を補正する。

【 0 0 2 3 】

図 4 は、粒子線ビームの制御電磁石 1 0 を構成する第一超電導コイル群 1 1 及び第二超電導コイル群 1 2 を直線状に展開した分解図である。

なお実際の第一超電導コイル群 1 1 は、粒子線ビームの軌道に沿って湾曲形状を有するか又は複数に分割されたものが湾曲状に配置されている。

図示されるように、第一超電導コイル群 1 1 及び第二超電導コイル群 1 2 を構成する励磁コイルは、超電導素線を長円形の渦巻状に巻回して形成され、主面が真空ダクト 1 3 (図 1) の外周面に対峙している。

【 0 0 2 4 】

粒子線ビームの制御電磁石 1 0 は、第一超電導コイル群 1 1 のうち収束コイル 3 2 (3 2 a , 3 2 b , 3 2 c , 3 2 d) 及び第二超電導コイル群 1 2 のうち 1 次補正コイル 2 1 (2 1 a , 2 1 b) が真空ダクト 1 3 (図 1) に対向する第一層を形成している。そして

、偏向コイル 3 1 (3 1 a , 3 1 b) 及び 2 次補正コイル 2 2 (2 2 a , 2 2 b) が第一層の上に積層する第二層を形成している。

【 0 0 2 5 】

なお 1 次補正コイル 2 1 (2 1 a , 2 1 b) 及び 2 次補正コイル 2 2 (2 2 a , 2 2 b) は、図 4 に示すように同軸に積層して配置される場合の他に、図 5 に示すように粒子線ビームの制御電磁石 1 0 0 の両端に分離して配置される場合もある。

また、実施形態において第一超電導コイル群 1 1 は、偏向コイル 3 1 と収束コイル 3 2 を共に有するものを例示しているが、いずれか一方のみを有する場合もあり得る。

また、第二超電導コイル群 1 2 は、1 次補正コイル 2 1 と 2 次補正コイル 2 2 を共に有するものを例示しているが、いずれか一方のみを有する場合もあり得る。

図 4、図 5 及びその他の形態のうちいずれを選択するかについては、真空ダクト 1 3 にレイアウトされる制御電磁石 1 0 が要求する性能と短尺化との観点に基づいて、決定される。

【 0 0 2 6 】

図 6 は断熱容器 1 8 を直線状に展開させた分解図である。なお実際の断熱容器 1 8 は、図 1 に示されるように曲率を有している。

このように断熱容器 1 8 は、真空ダクト 1 3 (図 1) の外周面に対してクリアランスをとって同軸配置される内筒 4 1 と、この内筒 4 1 の外側に同軸に配置される外筒 4 2 と、内筒 4 1 と同じ径の孔を中心に有し外筒 4 2 と同じ径の外径を有する端板 4 3 (4 3 a , 4 3 b) とから構成されている。

内筒 4 1 の両端の周縁は、それぞれ端板 4 3 (4 3 a , 4 3 b) の孔の周縁に密着され、外筒 4 2 の両端の周縁は、それぞれ端板 4 3 (4 3 a , 4 3 b) の外周の周縁に密着される。これにより、内筒 4 1 の外周面と、外筒 4 2 の内周面と、端板 4 3 (4 3 a , 4 3 b) の面に囲まれる密閉空間が形成される。

【 0 0 2 7 】

第一超電導コイル群 1 1 及び第二超電導コイル群 1 2 の各々を構成する励磁コイルは、内筒 4 1、外筒 4 2 及び端板 4 3 (4 3 a , 4 3 b) のうち少なくとも一つの面に支持されている。

そして、これら励磁コイルを収容した断熱容器 1 8 の密閉空間は、液体冷媒が充填されるか、真空状態に保持されている。

なお、断熱容器 1 8 の密閉空間が真空状態に保持されている場合、冷凍機で発生した冷熱は、固体媒体を介して熱的に接続する励磁コイルに、熱伝導する。

このようにして、第一超電導コイル群 1 1 及び第二超電導コイル群 1 2 は、断熱容器 1 8 の密閉空間に共に収容されている冷却媒体により、超電導現象を発現する温度まで冷却される。

【 0 0 2 8 】

図 7 は、本発明の実施形態に係る照射治療装置 5 0 の断面図である。

粒子線ビーム 1 4 は、患者 5 3 の体内を通過する際に運動エネルギーを失って速度を低下させるとともに、速度の二乗にほぼ反比例する抵抗を受けてある一定の速度まで低下すると急激に停止する。そして、粒子線ビームの停止点近傍では、ブラッグピークと呼ばれる高エネルギーが放出される。

照射治療装置 5 0 は、このブラッグピークを患者 5 3 の病巣組織に合わせることで、正常組織のダメージを抑えつつ病巣組織を死滅させるものである。

【 0 0 2 9 】

照射治療装置 5 0 は、粒子線ビームの制御電磁石 1 0 (1 0 a , 1 0 b , 1 0 c) と、これら制御電磁石 1 0 を支持するとともに中心軸 5 1 を中心として回転し粒子線ビーム 1 4 を中心軸 5 1 に対し直交する方向に照射させる回転ガントリ 5 2 と、照射された粒子線ビーム 1 4 に対し載置した患者 5 3 を移動して位置合わせするベッド 5 4 と、を備えている。

【 0 0 3 0 】

10

20

30

40

50

回転ガントリ 5 2 の内側に設けられている照射部 5 5 には、粒子線ビーム 1 4 を、x 軸方向に偏向走査する x 軸偏向走査磁石（図示略）、y 軸方向に偏向走査する y 軸偏向走査磁石（図示略）、s 軸方向に侵入深さ制御するレンジシフタ（図示略）が配置されている。

【 0 0 3 1 】

図示するように制御電磁石 1 0（1 0 a，1 0 b，1 0 c）が配置されることにより、ガントリ 5 2 の回転軸 5 1 に沿って入力した粒子線ビーム 1 4 の軌道を 9 0 ° 曲げて、この回転軸 5 1 に直交する任意の方向から、患者 5 3 に照射することが可能になる。

それぞれの制御電磁石 1 0 は、偏向磁場、収束磁場及び補正磁場を発生させる超電導コイル群が、一つの断熱容器に収容されて構成されているので、これを支持する回転ガントリの小型化及び軽量化を図ることができる。

10

【 0 0 3 2 】

以上述べた少なくともひとつの実施形態の粒子線ビームの制御電磁石によれば、粒子線ビームの軌道のズレを補正する補正磁場を形成する第二超電導コイル群を、偏向磁場や収束磁場を形成する第一超電導コイル群と共に、断熱容器に収容することにより、粒子線ビームの輸送路を短尺化することが可能となる。

【 0 0 3 3 】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更、組み合わせを行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

20

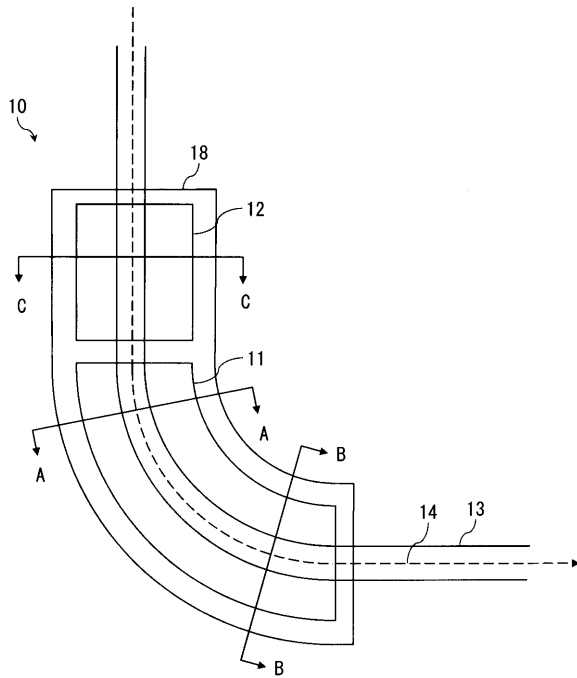
【 符号の説明 】

【 0 0 3 4 】

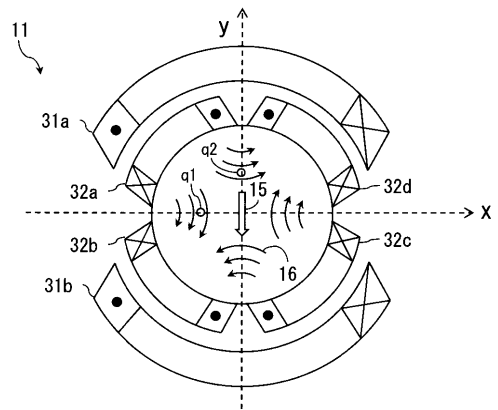
1 0，1 0 0 ... 制御電磁石、1 1 ... 第一超電導コイル群、1 2 ... 第二超電導コイル群、1 3 ... 真空ダクト、1 4 ... 粒子線ビーム、1 5 ... 偏向磁場、1 6 ... 収束磁場、1 7 ... 補正磁場、1 7 x ... 一次補正磁場、1 7 y ... 二次補正磁場、1 8 ... 断熱容器、2 1 ... 一次補正コイル、2 2 ... 二次補正コイル、3 1 ... 偏向コイル、3 2 ... 収束コイル、4 1 ... 内筒、4 2 ... 外筒、4 3 ... 端板、5 0 ... 照射治療装置、5 1 ... 中心軸、5 2 ... 回転ガントリ、5 3 ... 患者、5 4 ... ベッド。

30

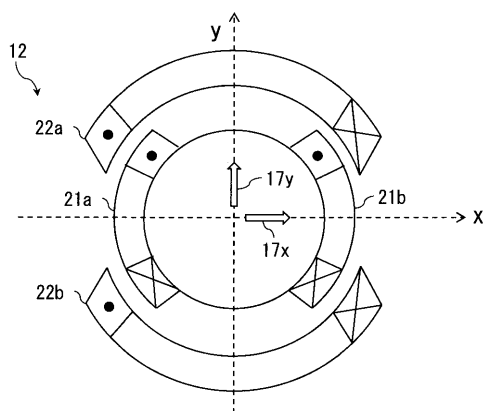
【 図 1 】



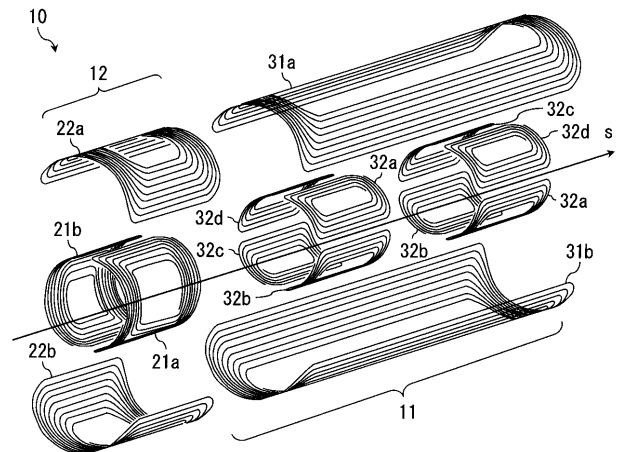
【 図 2 】



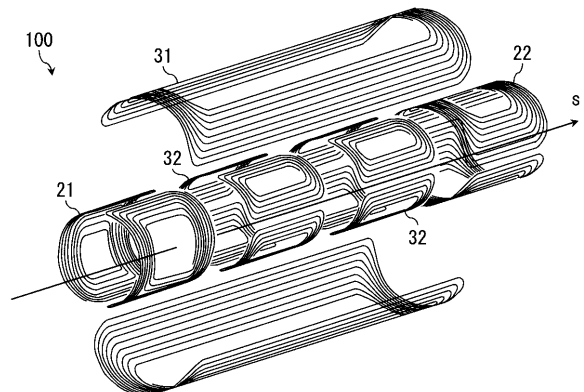
【 図 3 】



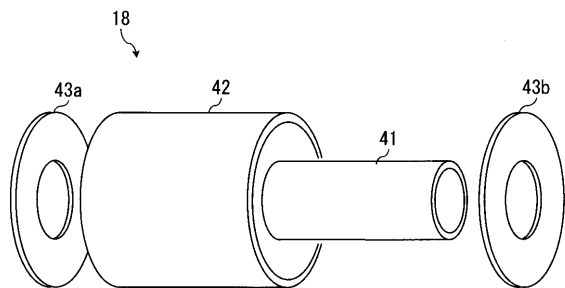
【 図 4 】



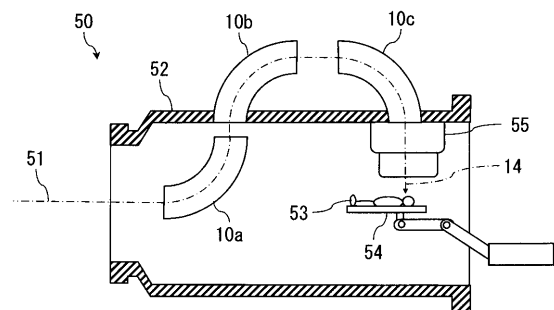
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

(72)発明者 吉行 健
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
(72)発明者 矢澤 孝
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
Fターム(参考) 4C082 AC05 AE02 AG12 AL06