

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7677752号
(P7677752)

(45)発行日 令和7年5月15日(2025.5.15)

(24)登録日 令和7年5月7日(2025.5.7)

(51)国際特許分類

F I

A 6 1 N 5/10 (2006.01) A 6 1 N 5/10 H

請求項の数 15 (全15頁)

(21)出願番号	特願2019-166000(P2019-166000)	(73)特許権者	501387839
(22)出願日	令和1年9月12日(2019.9.12)		株式会社日立ハイテク
(65)公開番号	特開2021-41005(P2021-41005A)		東京都港区虎ノ門一丁目17番1号
(43)公開日	令和3年3月18日(2021.3.18)	(74)代理人	110000279
審査請求日	令和4年3月28日(2022.3.28)		弁理士法人ウィルフォート国際特許事務所
審判番号	不服2023-22191(P2023-22191/J1)	(72)発明者	滝沢 賢一
審判請求日	令和5年12月27日(2023.12.27)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
		(72)発明者	株式会社日立製作所内
		(72)発明者	西内 秀晶
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
			株式会社日立製作所内
		(72)発明者	片寄 雅
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
			株式会社日立製作所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 粒子線照射システム及び粒子線照射施設

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

床面に設置され、荷電粒子ビームを加速する加速器と、
前記加速器から出射された荷電粒子ビームを輸送する輸送装置と、
前記輸送装置により輸送された荷電粒子ビームを照射対象に照射する照射装置と、
前記加速器とは個別に前記床面に設置され、前記照射装置が取付けられたガントリと、
を備える粒子線照射システムであって、
前記ガントリは、
前記照射装置を前記照射対象の周りで回転させる回転体と、
前記回転体の前記床面への投影面と、前記加速器または前記輸送装置の前記床面への投影面と、
が少なくとも一部で重なる位置に前記回転体を前記床面から支持する支持装置と、
を有し、
前記支持装置の材質の少なくとも一部は金属である、
粒子線照射システム。

【請求項2】

前記加速器と前記ガントリとは、部屋として区切られた1つの空間内に配置される
請求項1に記載の粒子線照射システム。

【請求項3】

前記支持装置が第1接地面と第2接地面とで床面に接し、前記第1接地面と前記第2接地面の間に前記加速器または前記輸送装置の少なくとも一方の少なくとも一部が配置され

る、

請求項 2 に記載の粒子線照射システム。

【請求項 4】

前記輸送装置は、前記加速器で加速された荷電粒子ビームを上向きに偏向する第 1 偏向電磁石と、前記第 1 偏向電磁石で偏向された荷電粒子ビームを前記回転体の回転軸の方向に偏向する第 2 偏向電磁石とを有する、

請求項 1 に記載の粒子線照射システム。

【請求項 5】

前記ガントリは、前記回転体の外周面の外側で荷電粒子ビームを偏向する第 3 偏向電磁石を更に有し、

前記支持装置は、前記回転体の回転軸方向における前記第 3 偏向電磁石より前方に配置される第 1 支持部と前記第 3 偏向電磁石より後方に配置される第 2 支持部とを有する、
請求項 1 に記載の粒子線照射システム。

【請求項 6】

前記ガントリは、前記回転体の外周面に荷電粒子ビームを輸送する輸送ラインを更に有し、

前記回転体の外周面からの前記輸送ラインの高さと、前記回転体の下方での前記加速器または前記輸送装置の床面からの高さとの和よりも、前記支持装置の高さの方が大きい、
請求項 1 に記載の粒子線照射システム。

【請求項 7】

前記輸送装置の一部が前記粒子線照射システムが設置される部屋の壁面に固定される、
請求項 1 に記載の粒子線照射システム。

【請求項 8】

前記ガントリは、前記輸送装置で輸送された荷電粒子ビームを前記回転体の外周面の外側に輸送し、前記回転体の周方向に輸送し、前記回転体の回転軸に向かう方向に輸送する輸送ラインを更に有する、

請求項 1 に記載の粒子線照射システム。

【請求項 9】

前記加速器は、環状経路で荷電粒子ビームを加速するシンクロトロンである、
請求項 1 に記載の粒子線照射システム。

【請求項 10】

床面に設置され、荷電粒子ビームを加速する加速器と、
前記加速器から出射された荷電粒子ビームを輸送する輸送装置と、
前記輸送装置により輸送された荷電粒子ビームを照射対象に照射する照射装置と、
前記加速器とは個別に前記床面に設置され、前記照射装置が取付けられたガントリと、
を備える粒子線照射システムであって、

前記ガントリは、

前記照射装置を前記照射対象の周りで回転させる回転体と、

前記回転体の前記床面への投影面と、前記加速器または前記輸送装置の前記床面への投影面と、が少なくとも一部で重なる位置に前記回転体を前記床面から支持する支持装置と、
を有し、

前記加速器は、環状経路で荷電粒子ビームを加速するシンクロトロンであり、

前記支持装置は、第 1 の脚と第 2 の脚とを有し、

前記第 1 の脚が前記環状経路の内側に位置し、前記第 2 の脚が前記環状経路の外側に位置するように、前記環状経路を跨いで前記床面に接地する、
粒子線照射システム。

【請求項 11】

前記輸送装置は、前記加速器で加速された荷電粒子ビームを床面に沿って輸送する第 1 ビーム輸送部と、前記第 1 ビーム輸送部の下流で荷電粒子ビームを上向きに輸送する第 2 ビーム輸送部とを有し、

前記支持装置は、前記第 2 ビーム輸送部を後方にし、2 つの脚部で前記第 1 ビーム輸送部を跨いで前記床面に接地する、

請求項 10 に記載の粒子線照射システム。

【請求項 12】

前記支持装置の材質の少なくとも一部は金属である、

請求項 10 に記載の粒子線照射システム。

【請求項 13】

前記支持装置の材質の少なくとも一部はコンクリートである、

請求項 1 または 10 に記載の粒子線照射システム。

【請求項 14】

建屋と、

前記建屋内に設置される請求項 1 乃至 13 のいずれか一項に記載の粒子線照射システムと、

を有する粒子線照射施設。

【請求項 15】

前記照射対象は患者であり、

前記患者を載置して前記回転体の内側に進入可能な治療台が設置される治療室と前記加速器および前記ガントリが設置される部屋との間に設けられる仕切り壁を更に有する、

請求項 14 に記載の粒子線照射施設。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、粒子線照射システム及び粒子線照射施設に関する。

【背景技術】

【0002】

放射線治療は、X 線あるいは粒子線などの放射線を患部に照射する治療法である。放射線治療のための装置のうち最も普及しているのが X 線治療装置である。しかし、X 線は、線量が体表面で最大となり減衰しながら体内を通過するため、腫瘍の前後にある正常な組織に影響を及ぼす恐れがある。一方、粒子線は、ブラッグカーブと呼ばれる、飛程の深い部分で高い線量分布を有している。粒子線治療では、その高い線量分布（ブラッグピーク）よりも深い部分には線量を付与しない特長を活かし、ブラッグピークを患部位置に調整して線量集中性を高めて照射する。粒子線治療は、X 線治療と比較して患部への線量集中性を高めつつ、患部周辺への影響を抑えることができる。このような治療を実現する粒子線治療システムのさらなる普及が求められている。

【0003】

しかしながら、粒子線治療システムは、X 線治療装置と比較して高額であることに加え、設置面積が大きいことも普及の妨げとなっている。粒子線治療システムをさらに普及していく上で、粒子線治療システムの設置面積の低減、小型化、および低価格化が求められている。

【0004】

特許文献 1 には、小型化された粒子線治療システムが開示されている。粒子線治療システムは、荷電粒子ビームを加速するシンクロトロンと、シンクロトロンで加速された荷電粒子ビームを輸送する高エネルギービーム輸送系と、高エネルギービーム輸送系により輸送された荷電粒子ビームを患者に照射する照射野形成装置を備える回転ガントリと、から構成される。特許文献 1 に開示された技術は、シンクロトロンと回転ガントリの間で荷電粒子ビームを輸送する高エネルギービーム輸送系を、シンクロトロンからの荷電粒子ビームの軌道の中心と、回転ガントリの回転の中心とが、略同一直線状になるように構成することで、粒子線治療システムの設置面積の低減を実現している。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

20

30

40

50

【0005】

【文献】特開2018-187308号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本開示のひとつの目的は、粒子線治療システムの設置面積を低減する技術を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本開示のひとつの態様による粒子線照射システムは、床面に設置され、荷電粒子ビームを加速する加速器と、加速器から出射された荷電粒子ビームを輸送する輸送装置と、輸送装置により輸送された荷電粒子ビームを照射対象に照射する照射装置と、床面に設置され、照射装置が取付けられたガントリと、を備える。また、ガントリは、照射装置を照射対象の周りで回転させる回転体と、回転体の床面への投影面と加速器または輸送装置の床面への投影面とが少なくとも一部で重なる位置に回転体を床面から支持する支持装置と、を有する。

10

【発明の効果】

【0008】

本開示のひとつの態様によれば、設置面積を低減した粒子線照射システムを提供することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】粒子線治療システムの鳥瞰図である。

【図2】粒子線治療システムの上面図である。

【図3】粒子線治療システムの側面図である。

【図4】粒子線治療システムの正面図である。

【図5】回転体が回転した状態の粒子線治療システムを示す図である。

【図6】粒子線治療システムが建屋に設置された状態を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

30

【0011】

ここでは、照射対象に粒子線ビームを照射する粒子線照射システムの一例として、癌患者の癌組織に粒子線ビームを照射する粒子線治療システムについて説明する。

【0012】

図1は、粒子線治療システムの鳥瞰図である。図2は、粒子線治療システムの上面図、図3は、粒子線治療システムの側面図、図4は、粒子線治療システムの正面図である。図2の上面図は、図1に示した粒子線照射システムを矢印Aの方向から見た図である。図3の側面図は、図1に示した粒子線照射システムを矢印Bの方向から見た図である。図4の正面図は、図1に示した粒子線照射システムを矢印Cの方向から見た図である。

40

【0013】

まず、粒子線照射システムの構成および動作の概略を説明する。

【0014】

粒子線治療システムは、直線加速器2、低エネルギービーム輸送装置3、シンクロトロン4、高エネルギービーム輸送装置5、回転ガントリ1、および照射ノズル6を有する。

【0015】

直線加速器2は、荷電粒子を加速して荷電粒子ビームを発生させる。直線加速器2で発生した荷電粒子ビームは、低エネルギービーム輸送装置3で輸送され、シンクロトロン4に入射する。シンクロトロン4に入射した荷電粒子ビームは、シンクロトロン4で所望のエネルギーまで加速され、高エネルギービーム輸送装置5に出射される。シンクロトロン

50

4 から出射された荷電粒子ビームは、高エネルギービーム輸送装置 5 を通り、回転ガントリ 1 に運ばれる。

【0016】

回転ガントリ 1 は、回転軸 30 周りに回転する回転体 11 と、高エネルギービーム輸送装置 5 に対して相対的に回転可能に高エネルギービーム輸送装置 5 と接続し回転体 11 と共に回転するガントリ輸送ライン 19 と、回転体 11 を回転可能に支持する支持装置 14 とを有する。

【0017】

図 4 の治療ケージ 8 の内部を参照すると、回転ガントリ 1 には、回転体 11 と共に回転する照射ノズル 6 が設置されている。照射ノズル 6 は、先端を回転軸 30 に向けて回転軸 30 周りに回転する。患者が載置される治療台 7 は、照射ノズル 6 の先端の向く方向に患者が載置されるように配置されている。

【0018】

高エネルギービーム輸送装置 5 からの荷電粒子ビームは、ガントリ輸送ライン 19 で照射ノズル 6 に輸送され、照射ノズル 6 の先端から治療台 7 に載置された患者の患部に照射される。回転体 11 を回転させることで、照射ノズル 6 が治療台 7 の周りを回転し、荷電粒子ビームを患者の患部へどの方向から照射するかを変化させることができる。なお、本実施例では、治療台 7 は、患者を載置する天板と、天板を XYZ 軸の方向へ駆動する 3 つの平行駆動機構と、天板を Z 軸周りに回転させる回転駆動機構とを備える治療台を例に説明しているが、これに限定されるものではない。たとえば、Z 軸方向への駆動機構と、第 1 アームと第 1 アーム旋回機構、第 2 アームと第 2 アーム旋回機構、天板と天板をピッチ・ロール・ヨーに回転させる回転機構、を有するロボットアーム式治療台等、他の治療台でもよい。

【0019】

次に、粒子線治療システムに含まれる各装置の構成および動作について説明する。

【0020】

直線加速器 2 は、イオン源と線形加速器とを備えている。イオン源は、中性ガスに高速の電子を衝突させるなどして荷電粒子を発生する。線形加速器は、イオン源で発生した荷電粒子をシンクロトロン 4 による加速が可能な状態の荷電粒子ビームにまで加速し、低エネルギービーム輸送装置 3 に向けて出射する。荷電粒子ビームとは荷電粒子が細く流れるビームである。ここでは、荷電粒子として、例えば、水素、ヘリウム、炭素、窒素、酸素、ネオン、シリコン、アルゴンなどがある。

【0021】

低エネルギービーム輸送装置 3 は、直線加速器 2 から出射された荷電粒子ビームを、内部が高真空に保たれた空間によって輸送する装置であり、荷電粒子ビームをシンクロトロン 4 へと輸送する。

【0022】

シンクロトロン 4 は、低エネルギービーム輸送装置 3 からの荷電粒子ビームを、環状の経路により、癌の治療に好適なエネルギー（70 MeV から 220 MeV 程度）となるまで加速する装置である。シンクロトロン 4 の環状経路は、荷電粒子ビームを所定の角度に偏向する偏向電磁石 15 A と、荷電粒子ビームの水平方向及び垂直方向の収束および／または発散を制御する四極電磁石 16 A と、荷電粒子ビームの経路である真空ダクト 17 A と、荷電粒子ビームを加速する高周波加速空洞 21 と、を互いに接続して構成されている。本実施例では、荷電粒子ビームを 90 度偏向する 4 個の偏向電磁石 15 A が 4 隅に配置され、真空ダクト 17 A がそれら偏向電磁石 15 A を貫通して環状経路を構成している。

【0023】

本実施例では、シンクロトロン 4 の建屋 100 への据付け方法として、建屋 100 の床面に設置された架台 22 の上に、偏向電磁石 15 A、四極電磁石 16 A、および高周波加速空洞 21 を固定するという方法が採られている。

【0024】

10

20

30

40

50

なお、本実施例では、シンクロトロン 4 を架台 2 2 を介して床面に据付けているが、架台 2 2 を用いずシンクロトロン 4 を床面に直接据付けてもよい。

【0025】

また、本実施例では、4 個の偏向電磁石 1 5 A が環状経路に配置されている構成を示しているが、シンクロトロン 4 の構成はこれに限定されるものではない。シンクロトロン 4 における偏向電磁石 1 5 A の個数は 4 個未満でもよいし、5 個以上でもよい。また、本実施例では、偏向電磁石 1 5 A の偏向角度を 90 度としているが、シンクロトロン 4 の構成がこれに限定されることはない。偏向電磁石 1 5 A の偏向角度は他の角度でもよい。また、シンクロトロン 4 は、偏向電磁石 1 5 A、四極電磁石 1 6 A、高速加速空洞 2 1 以外の機器を、環状経路上、環状経路と低エネルギー輸送系 3 との接続部、または、環状経路と高エネルギービーム輸送装置 5 との接続部に備えてもよい。

10

【0026】

また、本実施例では、加速器として直線加速器 2 とシンクロトロン 4 とを用いて荷電粒子ビームを加速する例を示しているが、この構成に限定されることはない。他の例として、サイクロトロン、シンクロサイクロトロン、荷電粒子ビームを加速する軌道を偏心させて任意のエネルギーの荷電粒子ビームを出射する円形加速器など、他の加速器を用いてもよい。

【0027】

シンクロトロン 4 で加速された荷電粒子ビームは高エネルギービーム輸送装置 5 へ送られる。

20

【0028】

高エネルギービーム輸送装置 5 は、シンクロトロン 4 で加速された荷電粒子ビームを偏向しながら回転ガントリ 1 に輸送する装置である。高エネルギービーム輸送装置 5 は、偏向電磁石 1 5 B と、四極電磁石 1 6 B と、真空ダクト 1 7 B とを組み合わせで構成されている。

【0029】

高エネルギービーム輸送装置 5 は、図 3 に示すように、略水平に荷電粒子ビームを輸送する第 1 ビーム輸送部 5 (1) と、略垂直に荷電粒子ビームを輸送する第 2 ビーム輸送部 5 (2) とを有する。更に、高エネルギービーム輸送装置 5 は、第 1 ビーム輸送部 5 (1) と第 2 ビーム輸送部 5 (2) の間に、荷電粒子ビームを 90 度偏向する偏向電磁石 1 5 B 1 を有し、第 2 ビーム輸送部 5 (2) と回転ガントリ 1 との間に、荷電粒子ビームを 90 度偏向する偏向電磁石 1 5 B 2 を有する。

30

【0030】

第 1 ビーム輸送部 5 (1) は、荷電粒子ビームの収束および／または発散を制御する四極電磁石 1 6 B を、略直線状の真空ダクト 1 7 B が貫通した構成である。第 1 ビーム輸送部 5 (1) は、床面に設置された架台 2 2 のうえに四極電磁石 1 6 B を固定することにより、架台 2 2 を介して床面に据付けられている。

【0031】

第 2 ビーム輸送部 5 (2) は、第 1 ビーム輸送部 5 (1) と同様に、四極電磁石 1 6 B を略直線状の真空ダクト 1 7 B が貫通した構成である。第 2 ビーム輸送部 5 (2) は、四極電磁石 1 6 B が架台 2 2 に固定された状態で建屋 1 0 0 の壁面に固定して据付けられている。第 2 ビーム輸送部 5 (2) を壁面に固定することにより、その設置面積を低減するとともにその設置を安定させることができる。

40

【0032】

シンクロトロン 4 から出射された荷電粒子ビームは、第 1 ビーム輸送部 5 (1) の四極電磁石 1 6 B と真空ダクト 1 7 B とにより、偏向電磁石 1 5 B 1 まで輸送される。たとえば、輸送される荷電粒子ビームの進行方向は例えば床面に対して略水平であり、第 1 ビーム輸送部 5 (1) は、シンクロトロン 4 から偏向電磁石 1 5 B 1 までを略直線上に結んでいる。

【0033】

50

第1ビーム輸送部5(1)から偏向電磁石15B1に輸送された荷電粒子ビームは、偏向電磁石15B1により床面から遠ざかる方向に偏向される。このとき、たとえば、偏向電磁石15B1の偏向角度は90度であり、偏向された荷電粒子ビームが向かう方向は、略鉛直方向上向きである。偏向電磁石15B1で偏向された荷電粒子ビームは、第2ビーム輸送部5(2)に入射する。第2ビーム輸送部5(2)は、入射した荷電粒子ビームを偏向電磁石15B2に輸送する。

【0034】

偏向電磁石15B2は、第2ビーム輸送部5(2)からの荷電粒子ビームを回転ガントリー1の方向に偏向し、回転ガントリー1に入射する。このとき、たとえば、偏向電磁石15B2の偏向角度は90度であり、偏向された荷電粒子ビームが向かう方向は、床面と略水平かつシンクロトロン4に向かう方向である。言い換えると、偏向電磁石15B2からの荷電粒子ビームは、シンクロトロン4から出射した方向とは反対の方向に向かう。

【0035】

高エネルギービーム輸送装置5と回転ガントリー1との接続点は、回転ガントリー1の回転軸30上にあり、高エネルギービーム輸送装置5から回転ガントリー1に入射する荷電粒子ビームの進行方向は、回転ガントリーの回転軸30に一致する。

【0036】

なお、本実施例では、高エネルギービーム輸送装置5が荷電粒子ビームを90度偏向する2個の偏向電磁石15B1、15B2を備える構成を例に説明したが、この構成に限定されることはない。他の例として、偏向電磁石15Bの数は1個でも3個以上でもよい。また、偏向電磁石15Bの偏向角度は90度に限定されず、他の角度でもよい。たとえば、シンクロトロン4から出射した荷電粒子ビームが床面と略水平な平面内で偏向されてから、偏向電磁石15B1に入射してもよい。また、たとえば、偏向電磁石15B2で偏向された荷電粒子ビームが床面と略水平な平面内で偏向されてから回転ガントリー1に入射してもよい。

【0037】

また、本実施例では、第1ビーム輸送部5(1)の床面への据付けと、第2ビーム輸送部5(2)の壁面への据付けに架台22を用いる例を示したが、この構成に限定されることはない。他の例として、第1ビーム輸送部5(1)の床面への据付けと、第2ビーム輸送部5(2)の壁面への据付けの一方または両方に架台22を用いなくてもよい。

【0038】

また、本実施例では、第1ビーム輸送部5(1)を床面に据付け、第2ビーム輸送部5(2)を壁面に据付けているが、据付け場所はこれらに限定されない。たとえば、第2ビーム輸送部5(2)を支持装置14に固定してもよい。

【0039】

回転ガントリー1は、フロントリング9、リアリング10、回転体11、サポートローラー12、ガントリー回転モータ(図示せず)、支持装置14、およびガントリー輸送ライン19を備える。

【0040】

回転体11は、フロントリング9側からリアリング10側に向かって順に、第1円筒部11(1)と円錐部11(2)と第2円筒部11(3)とを備える。フロントリング9とリアリング10とが第1円筒部11(1)で接続される。回転体11のフロントリング9側は開口しており、回転体11内側かつフロントリング9側には、患者に荷電粒子ビームを照射し治療する空間である治療ケージ8が設けられている。ガントリー輸送ライン19は、回転体11に固定されている。

【0041】

支持装置14は、シンクロトロン4と同じ床面に据付けられている。支持装置14の上には、サポートローラー12が、回転可能に固定される。フロントリング9およびリアリング10はサポートローラー12上に搭載されている。すなわち、支持装置14は、サポートローラー12を介して、フロントリング9、リアリング10、回転体11、およびガ

10

20

30

40

50

ントリ輸送ライン１９を支持している。

【００４２】

ガントリ回転モータの動力でサポートローラー１２が回転し、フロントリング９およびリアリング１０に動力を伝達することにより、フロントリング９とリアリング１０と回転体１１とガントリ輸送ライン１９とが一体となって、回転軸３０周りに回転する。

【００４３】

図５は、回転体が回転した状態の粒子線治療システムを示す図である。上記図１～４には、照射ノズル６が治療台７に載置される患者に鉛直方向の上方から荷電粒子ビームを照射できる状態の粒子線治療システムが示されている。この状態を含め、回転体１１は略３６０度回転可能である。図５には、回転体１１が正面から見て時計回りに９０度回転し、照射ノズル６が患者の真横から水平方向に荷電粒子ビームを照射できる状態が示されている。

10

【００４４】

ガントリ輸送ライン１９は、高エネルギービーム輸送装置５から入射する荷電粒子ビームを偏向しながら照射ノズル６に輸送する装置である。ガントリ輸送ライン１９は、回転軸３０上の接続点２０で、高エネルギービーム輸送装置５と回転可能に接続されている。ビーム輸送ライン１９は、偏向電磁石１５Ｃと四極電磁石１６Ｃと真空ダクト１７Ｃとを含む複数部材を組合せて構成されている。

【００４５】

ガントリ輸送ライン１９は、高エネルギービーム輸送装置５から回転軸３０に沿う進行方向で入射した荷電粒子ビームを、第２円筒部１１（３）の内側に通し、偏向電磁石（不図示）で回転軸３０から遠ざかる方向に偏向する。ガントリ輸送ライン１９は、回転軸３０から遠ざかる方向に偏向された荷電粒子ビームを回転体１１の外側に輸送する。

20

【００４６】

回転体１１の外側では、偏向電磁石１５Ｃ１、四極電磁石１６Ｃ、真空ダクト１７Ｃ、および偏向電磁石１５Ｃ２で構成された部分が、第１円筒部１１（１）の外周面に取り付けられている。回転体１１の外側に出た荷電粒子ビームは、偏向電磁石１５Ｃ１により、回転軸３０に垂直な平面内で偏向角度１３５度で偏向され、四極電磁石１６Ｃによりビームの広がり制御されながら真空ダクト１７Ｃで回転体１１の周方向に輸送される。真空ダクト１７Ｃで輸送された荷電粒子ビームは、偏向電磁石１５Ｃ２により、回転軸３０に垂直な平面内で回転軸３０に向かう方向に１３５度偏向される。回転軸３０に向かう方向に偏向された荷電粒子ビームは、回転体１１内側に入り、照射ノズル６を介して、治療ケージ８内の患者に照射される。

30

【００４７】

ガントリ輸送ライン１９を上述の構成とすることで、回転ガントリ１の回転軸３０の前後方向の長さを短くでき、粒子線治療システムの設置面積を低減することができる。ここでいう粒子線治療システムの設置面積は粒子線治療システムを設置するのに要する床面積である。

【００４８】

また、本実施例では、ガントリ輸送ライン１９が３個の偏向電磁石を備える構成を示しているが、ガントリ輸送ライン１９の構成はこれに限定されるものではない。ガントリ輸送ライン１９における偏向電磁石の個数は３個未満でもよいし、４個以上でもよい。また、本実施例では、偏向電磁石１５Ｃ１、１５Ｃ２の偏向角度を１３５度としているが、これに限定されることはない。偏向電磁石１５Ｃ１、１５Ｃ２の偏向角度は他の角度でもよい。また、ガントリ輸送ライン１９は、偏向電磁石１５Ｃ、四極電磁石１６Ｃ、真空ダクト１７Ｃ以外の機器を備えてもよい。

40

【００４９】

なお、本実施例では、荷電粒子ビームの収束および／または発散を制御しながら回転体１１の周方向に輸送する構成のガントリ輸送ラインを例示したが、この構成に限定されることはない。他の例として、ガントリ輸送ライン１９は、高エネルギービーム輸送装置５

50

から回転軸 30 に沿う進行方向で入射した荷電粒子ビームを回転軸 30 から遠ざかる方向に偏向し、回転軸 30 から遠ざかる方向に偏向された荷電粒子ビームを回転軸 30 と略平行な方向に偏向し、回転軸 30 と略平行な方向に偏向された荷電粒子ビームを回転軸 30 に向かう方向に偏向する構成としてもよい。

【0050】

支持装置 14 は、回転ガントリ 1 が回転してガントリ輸送ライン 19 が下方に位置するときに、ガントリ輸送ライン 19 がシンクロトロン 4 または高エネルギービーム輸送装置 5 の第 1 ビーム輸送部 5 (1) に接触しない高さになっている。より具体的には、ガントリ輸送ライン 19 の偏向電磁石 15 C 1 と偏向電磁石 15 C 2 の下方にあるシンクロトロン 4 または高エネルギービーム輸送装置 5 の機器の床面からの高さ、偏向電磁石 15 C 1 または偏向電磁石 15 C 2 の第 1 円筒部 11 (1) の外周面からの高さの最大値と、の合計値よりも、支持装置 14 の床面からの高さは高い。

10

【0051】

支持装置 14 に十分な高さを持たせることで、回転ガントリ 1 とシンクロトロン 4 とを同一床面上に設置面積を重ねて配置することができ、粒子線治療システム全体としての設置床面積を低減することができる。また、支持装置 14 に十分な高さを持たせることで、従来はガントリ輸送ラインと床面の接触を避けるため、ガントリ輸送ラインの通過領域のみ床面を低くしていたのに対して、建屋 100 の床面を低くする必要がなくなり、建屋 100 を簡易な構成とすることができる。

【0052】

20

本実施例では、支持装置 14 は、4 本の脚を有し、それら 4 本の脚で回転体 11 を支持している。本実施例では、支持装置 14 は、第 1 支持装置 14 (1) と第 2 支持装置 14 (2) で構成されている。第 1 支持装置 14 (1) と第 2 支持装置 14 (2) はいずれも 2 本の脚を有するアーチ型の形状をしており、回転軸 30 の方向に並んでいる。第 1 支持装置 14 (1) がフロントリング 9 側にあり、第 2 支持装置 14 (2) がリアリング側にある。第 1 支持装置 14 (1) がガントリ輸送ライン 19 の偏向電磁石 15 C 1 と偏向電磁石 15 C 2 より前方に配置される。第 2 支持装置 14 (2) がガントリ輸送ライン 19 の偏向電磁石 15 C 1 と偏向電磁石 15 C 2 よりも後方に配置されている。このように支持装置 14 を前方の第 1 支持装置 14 (1) と後方の第 2 支持装置 14 (2) とで構成することで、回転体 11 が回転するときに、回転体 11 と共に回転するガントリ輸送ライン 19 が第 1 支持装置 14 (1) と第 2 支持装置 14 (2) の間を通ることができ、支持装置 14 と輸送ライン 19 との衝突を回避することができる。第 1 支持装置 14 (1) は、フロントリング 9 を搭載するサポートローラー 12 を支持している。第 2 支持装置 14 (2) は、リアリング 10 を搭載するサポートローラー 12 を支持している。

30

【0053】

第 1 支持装置 14 (1) は、一方の脚がシンクロトロン 4 の円環の内側の床面に、他方の脚が円環の外側の床面に配置され、シンクロトロン 4 の円環が第 1 支持装置 14 (1) の脚と脚の間を通り、アーチ空間をくぐるように配置される。言い換えると、第 1 支持装置 14 (1) は、シンクロトロン 4 の円環を跨ぐように配置される。また、高エネルギービーム輸送装置 5 が、第 2 支持装置 14 (2) の脚と脚の間を通り、アーチ空間をくぐるように配置される。言い換えると、第 2 支持装置 14 (2) は、高エネルギービーム輸送装置 5 を跨ぐように配置される。これにより、回転体 11 の下方に、シンクロトロン 4 と高エネルギービーム輸送装置 5 の一部を配置することができる。支持装置 14 が床面に接するある接地面と支持装置 14 が床面に接する他の接地面との間にある支持装置 14 が床面に接していない部分に、シンクロトロン 4 および／または高エネルギービーム輸送装置 5 を配置することができ、粒子線治療システム全体としての設置面積を低減することができる。

40

【0054】

特に前方にある第 1 支持装置 14 (1) の下方にあるシンクロトロン 4 から出射された荷電粒子ビームを、高エネルギービーム輸送装置 5 により、第 2 支持装置 14 (2) の 2 つ

50

の脚の間を通して後方に輸送し後方で上向きに輸送する構成が、シンクロトロン 4 と高エネルギービーム輸送装置 5 を回転体 11 の下方に効率よく配置し、粒子線治療システムの設置面積の低減に寄与する。

【0055】

なお、支持装置 14 の構成および配置は、本実施例に限定されるものではない。回転体 11 が、直線加速器 2、シンクロトロン 4、または高エネルギービーム輸送装置 5 の少なくとも一部よりも高い位置に配置されていればよい。直線加速器 2、シンクロトロン 4、または高エネルギービーム輸送装置 5 の少なくとも一部が回転体 11 の下方に配置されていると、さらに粒子線治療システム全体としての設置面積を低減することができる。また、高エネルギービーム輸送装置 5 を略鉛直方向に延伸して配置することで、設置面積を低減することができる。しかし、必ずしも、直線加速器 2、シンクロトロン 4、または、高エネルギービーム輸送装置 5 が回転体 11 の下方に配置されていなくてもよい。回転体 11 が高い位置に配置されることで、その下方には制御装置や電源を設置するスペースが確保でき、粒子線治療システム全体としての設置面積を低減することができる。

10

【0056】

なお、本実施例では、支持装置の脚が 4 本を例に説明したが、4 本に限定されることはなく、3 本以下でもよく 5 本以上でもよい。また、本実施例では、アーチ型の第 1 支持装置とアーチ型の第 2 支持装置とを例に説明したが、第 1 支持装置 14 (1) と第 2 支持装置 14 (2) が一体の構造となってもよいし、脚の一部または全部が別々の構造となってもよい。

20

【0057】

また、支持装置 14 の材質は、鉄などの金属としてもいいし、一部または全部をコンクリート等、他の材質を使用してもよい。支持装置 14 の材質を金属とすれば、シンクロトロン 4 と高エネルギービーム輸送装置 5 の据付け後に支持装置 14 を据付けることができ、シンクロトロン 4 と高エネルギービーム輸送装置 5 の据付けを容易に行うことができる。一方、支持装置 14 の材質をコンクリートとし、粒子線治療システムの制御装置（図示せず）とシンクロトロン 4 または高エネルギービーム輸送装置 5 との間に配置することで、制御装置の遮蔽壁としての機能をも果たすようにすることができる。

【0058】

また、本実施形態では、回転ガントリ 1 が略 360 度回転する例を示したが、回転角度は 360 度以下でよく、回転角度が 300 度以下のハーフガントリ等他のガントリを用いてもよい。

30

【0059】

回転ガントリ 1 が上述の支持装置 14 を備えることにより、直線加速器 2 とシンクロトロン 4 と高エネルギービーム輸送装置 5 とが設置される領域と、回転ガントリ 1 が設置される領域とを上下に重ねてそれら機器を配置することができ、粒子線治療システム全体としての設置面積を低減することができる。言い換えると、直線加速器 2 とシンクロトロン 4 と高エネルギービーム輸送装置 5 との床面への投影面の少なくとも一部と、回転ガントリ 1 の床面への投影面の少なくとも一部と、が重なるように機器を配置することができ、粒子線治療システム全体としての設置面積を低減することができる。

40

【0060】

照射ノズル 6 は、高エネルギービーム輸送装置 5 から輸送されてきた荷電粒子ビームを患者の癌組織の形状に合わせて好適な線量分布に加工し、患部に照射する装置である。照射ノズル 6 は、回転ガントリ 1 の回転体 11 に取り付けられ、回転体 11 と一体に回転軸 30 周りを回転することで、治療ケージ 8 内の患者に任意の方向から荷電粒子ビームを照射することができる。

【0061】

図 6 は、粒子線治療システムが建屋に設置された状態を示す図である。

【0062】

粒子線治療システムは、建築物である建屋 100 内に設置され、粒子線治療システムと

50

建屋１００とで粒子線治療施設を構成する。建屋１００には、互いに治療室壁１０３で隔てられた加速器室１０１と治療室１０２とが設けられる。加速器室１０１には、直線加速器２とシンクロトロン４と高エネルギービーム輸送装置５と回転ガントリ１とが据付けられる。治療室１０２には患者が載置される治療台７が設置されている。治療台７は、治療室壁１０３の開口から治療ケージ８に出し入れ可能となっている。

【００６３】

加速器室１０１は、回転ガントリ１が略３６０度自由に回転できるように回転軸３０から回転半径のスペースが確保されている。なお、回転軸３０が建屋１００の外壁に対して斜めの角度を取るように回転ガントリ１を配置することで、建屋１００の対角線上のスペースを利用でき、設置面積をより低減することができる。たとえば、図２に示すように、略矩形の建屋１００に対して、回転軸３０が建屋１００の対角線に沿うように配置される。

10

【００６４】

本実施例では、加速器室１０１に、直線加速器２とシンクロトロン４と高エネルギービーム輸送装置５と回転ガントリ１とが設置されている例を説明したが、これに限定されず、たとえば、直線加速器２または高エネルギービーム輸送装置５が加速器室１０１でない別室に設置されてもよい。また、加速器室１０１内に制御装置（不図示）を配置してもよい。このときシンクロトロン４と制御装置との間の遮蔽壁を加速器室１０１に設けてもよい。

【００６５】

本実施例では、シンクロトロン４を加速器の例として説明している。シンクロトロン４は、任意のエネルギーまで荷電粒子ビームを加速し、任意のエネルギーの荷電粒子ビームを出射することができる。一方、他の加速器であるサイクロトロンやシンクロサイクロトロンは、最大エネルギーまで加速した荷電粒子ビームしか出射できない。サイクロトロンやシンクロサイクロトロンでは、最大エネルギーで出射した荷電粒子ビームをディグレーダーと呼ばれる機器を通過させることでエネルギーを任意の値まで落として、患者に照射する。このとき、エネルギーを吸収するためディグレータは放射化してしまう。そのため、サイクロトロンの場合は、患者の被ばく量をおとすために、患者が載置されるガントリと加速器との間に分厚い放射壁を設ける必要がある。一方、ディグレータを必要としないシンクロトロン４は、サイクロトロンやシンクロサイクロトロンのような放射壁が不要であり、加速器と回転ガントリ１とを同室に設置することができる。

20

30

【００６６】

このように加速器と回転ガントリ１とが同室に設置できることで、建屋１００の高さを抑え、粒子線治療施設の小型化、低価格化を実現することができる。ただし、シンクロトロン４に限らず、任意のエネルギーを出射できる加速器であれば、設置面積が低減されるという効果を得ることができる。

【００６７】

また、円形または円環状の加速器から発生する中性子などは、円の外周方向への指向性を持つ。治療ケージ８とシンクロトロン４とが同一平面上に位置しないため、シンクロトロン４から発生する中性子のうち治療台７上の患者に向かうものが少なく、治療室１０２床面や治療室壁１０３を放射壁のように厚くしなくてもよい。

40

【００６８】

治療室１０２のフロアレベルは、回転半径のスペースを確保した回転軸３０の近傍に設定されるため、加速器室１０１のフロアレベルに対して通常６～８ｍ程度高い位置となる。

【００６９】

本実施例では、回転ガントリ１が１つ治療室１０２が１つの構成を例に説明したが、これに限定されない。加速器室１０１に回転ガントリ１が２以上設置され、建屋１００に治療室１０２が２以上備えられていてもよい。

【００７０】

上述した実施形態は説明のための例示であり、発明の範囲を実施形態に限定する趣旨ではない。当業者は、本発明の範囲を逸脱することなしに、他の様々な態様で本発明を実施

50

することができる。

【符号の説明】

【0071】

1…回転ガントリ、2…直線加速器、3…低エネルギービーム輸送装置、4…シンクロトロン、5…ビーム輸送装置、6…照射ノズル、7…治療台、8…治療ケージ、9…フロントリング、10…リアリング、11…回転体、12…サポートローラー、14…支持装置、15…偏向電磁石、16…四極電磁石、17…真空ダクト、19…ガントリ輸送ライン、20…接続点、21…高周波加速空洞、22…架台、30…回転軸、100…建屋、101…加速器室、102…治療室、103…治療室壁

10

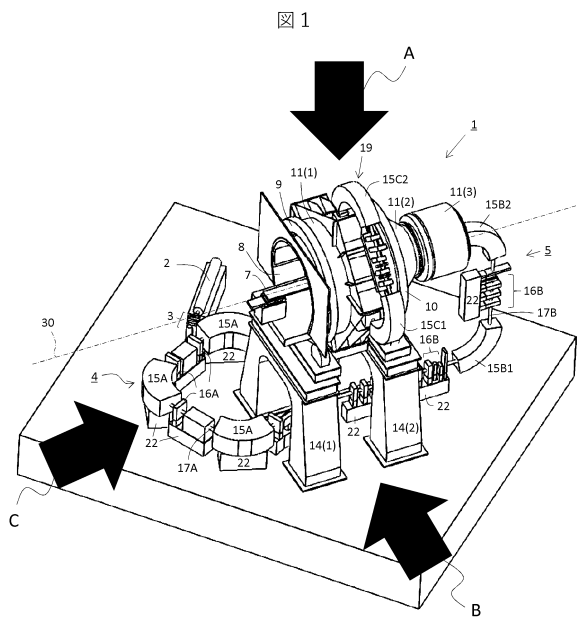
20

30

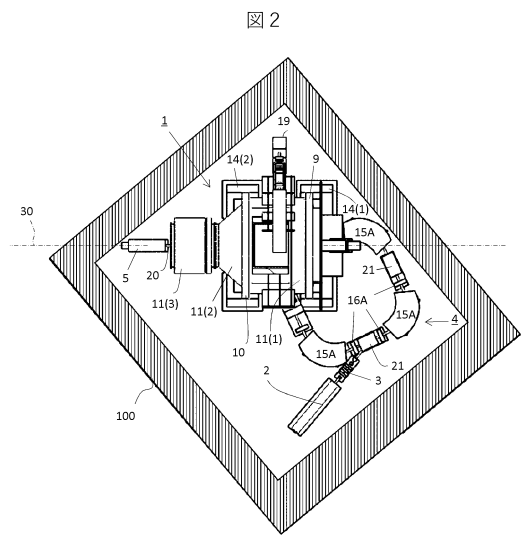
40

50

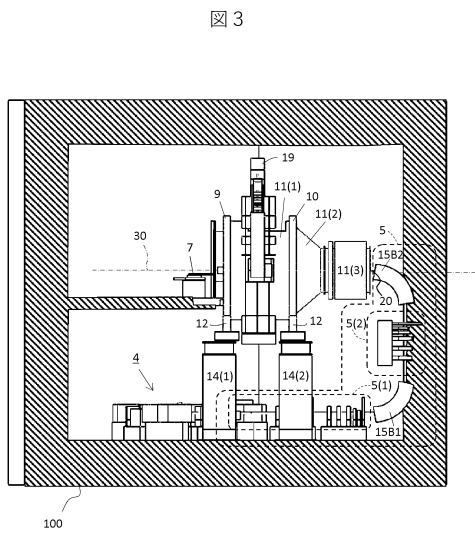
【図面】
【図 1】



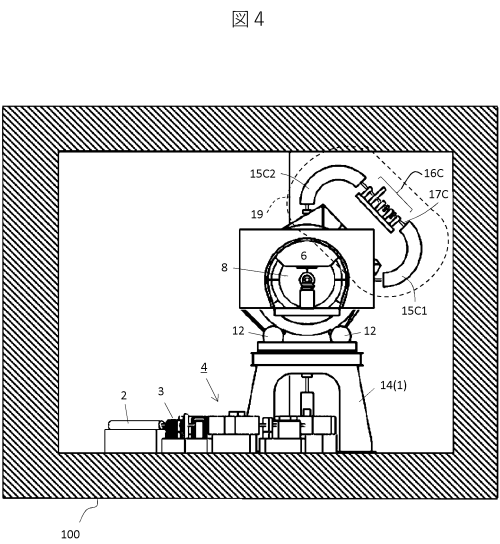
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

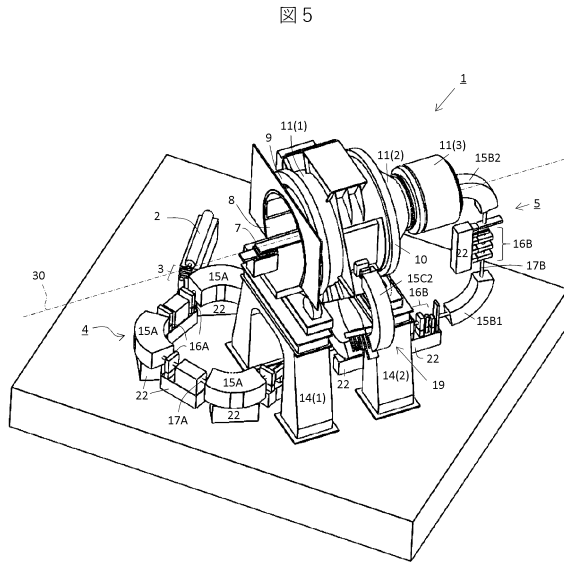
20

30

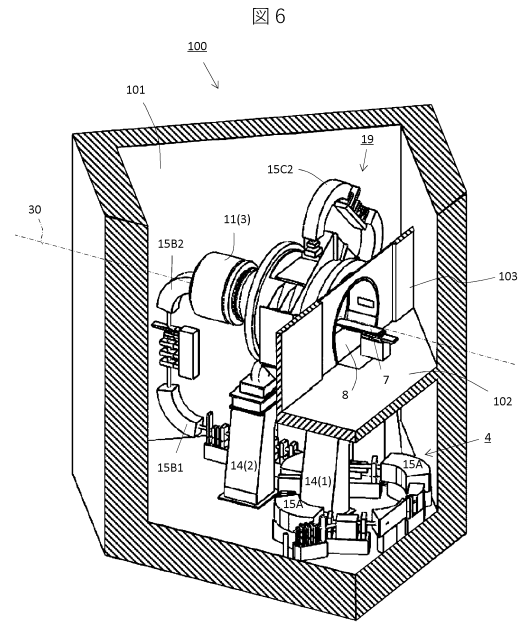
40

50

【図 5】



【図 6】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

合議体

審判長 井上 哲男

審判官 立花 啓

審判官 土田 嘉一

- (56)参考文献 特開 2011-182987 号公報 (JP, A)
国際公開第 2017/212290 (WO, A1)
国際公開第 2013/108534 (WO, A1)
特開平 07-272900 号公報 (JP, A)
国際公開第 2015/042525 (WO, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB 名)
A61N 5/10