

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5107113号  
(P5107113)

(45) 発行日 平成24年12月26日 (2012.12.26)

(24) 登録日 平成24年10月12日 (2012.10.12)

(51) Int. Cl.	F I	
<b>G 2 1 K</b> 5/04 (2006.01)	G 2 1 K	5/04 A
<b>G 2 1 K</b> 1/093 (2006.01)	G 2 1 K	1/093 D
<b>G 2 1 K</b> 3/00 (2006.01)	G 2 1 K	1/093 S
<b>A 6 1 N</b> 5/10 (2006.01)	G 2 1 K	3/00 S
	G 2 1 K	3/00 Y

請求項の数 6 (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2008-86554 (P2008-86554)  
 (22) 出願日 平成20年3月28日 (2008.3.28)  
 (65) 公開番号 特開2009-236867 (P2009-236867A)  
 (43) 公開日 平成21年10月15日 (2009.10.15)  
 審査請求日 平成22年7月12日 (2010.7.12)

(73) 特許権者 000002107  
 住友重機械工業株式会社  
 東京都品川区大崎二丁目1番1号  
 (74) 代理人 100088155  
 弁理士 長谷川 芳樹  
 (74) 代理人 100113435  
 弁理士 黒木 義樹  
 (72) 発明者 立川 敏樹  
 愛媛県新居浜市忽開町5番2号 住友重機  
 械工業株式会社愛媛製造所内  
 審査官 村川 雄一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子線照射装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

荷電粒子線を被照射物に照射する荷電粒子線照射装置であって、  
 前記荷電粒子線を走査するための走査電磁石と、  
 前記荷電粒子線をワブラー法で照射するためのワブラー照射手段と、  
 前記荷電粒子線をスキヤニング法で照射するためのスキヤニング照射手段と、  
 前記ワブラー照射手段と前記スキヤニング照射手段とを制御する制御手段と、を備え、  
 前記制御手段は、前記ワブラー照射手段又は前記スキヤニング照射手段の何れか一方を  
 作動させると共に、何れか他方を前記荷電粒子線の照射が妨げられないように退避状態と  
 することを特徴とする荷電粒子線照射装置。

【請求項2】

前記ワブラー照射手段及び前記スキヤニング照射手段を取り付ける筐体を備え、  
 前記ワブラー照射手段は、前記荷電粒子線を前記被照射物の形状に沿って整形する荷電  
 粒子線整形ユニットを有し、  
 前記スキヤニング照射手段は、前記荷電粒子線の到達深さを調整する到達深さ調整ユニ  
 ヲットを有し、  
 前記荷電粒子線整形ユニット及び前記到達深さ調整ユニットは、前記筐体に対して相互  
 に付け替え可能とされていることを特徴とする請求項1記載の荷電粒子線照射装置。

【請求項3】

前記荷電粒子線整形ユニットが前記筐体に取り付けられた際にオン又はオフとされる第

1 スイッチと、前記到達深さ調整ユニットが前記筐体に取り付けられた際にオン又はオフとされる第2スイッチと、の少なくとも一方を備え、

前記制御手段は、前記第1及び第2スイッチの状態に基づいて前記走査電磁石を制御することを特徴とする請求項2記載の荷電粒子線照射装置。

【請求項4】

前記ワブラー照射手段は、形状可変な開口部が形成され該開口部に前記荷電粒子線を通過させて前記荷電粒子線の平面形状を整形するコリメータを有し、

前記制御手段は、前記スキャニング照射手段を作動させる際、照射方向の上流側へ前記コリメータを移動させると共に、前記コリメータの前記開口部を拡大させることを特徴とする請求項1～3の何れか一項記載の荷電粒子線照射装置。

10

【請求項5】

前記ワブラー照射手段は、前記荷電粒子線の線量分布を調整するフィルタを有し、

前記フィルタには、前記荷電粒子線そのまま通過させる通過部が形成されており、

前記制御手段は、前記スキャニング照射手段を作動させる際、前記荷電粒子線が前記通過部を通過するように前記フィルタを移動させることを特徴とする請求項1～4の何れか一項記載の荷電粒子線照射装置。

【請求項6】

前記ワブラー照射手段は、前記走査電磁石の下流側に配置され前記荷電粒子線を拡散させる散乱体を有し、

前記荷電粒子線が通過する経路のうち前記散乱体より上流側は、真空に封止されていることを特徴とする請求項1～5の何れか一項記載の荷電粒子線照射装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、荷電粒子線を被照射物に照射する荷電粒子線照射装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来の荷電粒子線照射装置としては、荷電粒子線を走査するための走査電磁石と、荷電粒子線をワブラー法で照射するためのワブラー照射手段と、を備えたものが知られている（例えば、特許文献1参照）。このようなワブラー法による荷電粒子線照射装置では、荷電粒子線を走査電磁石で円を描くように走査して拡散し、拡散した荷電粒子線を被照射物の形状に沿って整形して照射する。

30

【0003】

また、従来の荷電粒子線照射装置として、荷電粒子線を走査するための走査電磁石と、荷電粒子線をスキャニング法で照射するためのスキャニング照射手段と、を備えたものも知られている（例えば、特許文献2参照）。このようなスキャニング法による荷電粒子線照射装置では、走査電磁石で荷電粒子線を被照射物上にて走査しながら照射する。

【特許文献1】特開平11-28252号公報

【特許文献2】特開2006-34701号公報

【発明の開示】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ここで、上述した各種の荷電粒子線照射装置は、機能上それぞれ独立した装置とされ、ワブラー法による照射又はスキャニング法による照射の一方のみが可能である。よって、上述した荷電粒子線装置では、照射の自由度が低いという問題がある。

【0005】

そこで、本発明は、ワブラー法及びスキャニング法の双方によって荷電粒子線を照射することができる荷電粒子線照射装置を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

50

上記課題を解決するため、本発明に係る荷電粒子線照射装置は、荷電粒子線を被照射物に照射する荷電粒子線照射装置であって、荷電粒子線を走査するための走査電磁石と、荷電粒子線をワブラー法で照射するためのワブラー照射手段と、荷電粒子線をスキヤニング法で照射するためのスキヤニング照射手段と、ワブラー照射手段とスキヤニング照射手段とを制御する制御手段と、を備え、制御手段は、ワブラー照射手段又はスキヤニング照射手段の何れか一方を作動させると共に、何れか他方を荷電粒子線の照射が妨げられないように退避状態とすることを特徴とする。

【0007】

この荷電粒子線照射装置では、制御手段によってワブラー照射手段又はスキヤニング照射手段の何れか一方が作動されると共に、何れか他方が荷電粒子線の照射を妨げないように退避状態とされる。つまり、例えば、荷電粒子線をワブラー法で照射する（以下、「ワブラー照射」という）場合、荷電粒子線が走査電磁石によって円を描くように走査されて拡散される。そして、制御手段でワブラー照射手段を作動され、例えば荷電粒子線が被照射物の形状に沿って整形されると共に、制御手段でスキヤニング照射手段が退避状態とされる。一方、荷電粒子線をスキヤニング法で照射する（以下、「スキヤニング照射」という）場合、被照射物上において荷電粒子線が走査電磁石で走査される。このとき、制御手段でスキヤニング照射手段が作動され、例えば荷電粒子線が収束されると共に、制御手段でワブラー照射手段が退避状態とされる。従って、本発明によれば、ワブラー法による照射及びスキヤニング法による照射のそれぞれを、その一方が他方に悪影響を及ぼすことなく実現することができ、ワブラー法及びスキヤニング法の双方で荷電粒子線を照射することが可能となる。

【0008】

また、ワブラー照射手段及びスキヤニング照射手段を取り付ける筐体を備え、ワブラー照射手段は、荷電粒子線を被照射物の形状に沿って整形する荷電粒子線整形ユニットを有し、スキヤニング照射手段は、荷電粒子線の到達深さを調整する到達深さ調整ユニットを有し、荷電粒子線整形ユニット及び到達深さ調整ユニットは、筐体に対して相互に付け替え可能とされていることが好ましい。この場合、荷電粒子線を照射する際、荷電粒子線整形ユニット及び到達深さ調整ユニットを相互に付け替えることで、ワブラー照射とスキヤニング照射との双方を実現することができる。さらに、このように、荷電粒子線整形ユニット及び到達深さ調整ユニットが相互に付け替え可能とされているため、これらを荷電粒子線照射装置に常に搭載しておくことが不要となり、荷電粒子線照射装置の小型化が可能となる。

【0009】

このとき、荷電粒子線整形ユニットが筐体に取り付けられた際にオン又はオフとされる第1スイッチと、到達深さ調整ユニットが筐体に取り付けられた際にオン又はオフとされる第2スイッチと、の少なくとも一方を備え、制御手段は、第1及び第2スイッチの状態に基づいて走査電磁石を制御することが好ましい。この場合、筐体に取り付けられたユニットを第1及び第2スイッチで識別することができ、ワブラー照射とスキヤニング照射を互いに切り替える際の誤操作や誤動作を防止すること（いわゆるインターロック）が可能となる。

【0010】

また、ワブラー照射手段は、形状可変な開口部が形成され該開口部に荷電粒子線を通わせて荷電粒子線の平面形状を整形するコリメータを有し、制御手段は、スキヤニング照射手段を作動させる際、照射方向の上流側へコリメータを移動させると共に、コリメータの開口部を拡大させることが好ましい。これにより、スキヤニング照射の際、広い照射野を確保することができ、コリメータを好適に退避状態とすることが可能となる。

【0011】

また、ワブラー照射手段は、荷電粒子線の線量分布を調整するフィルタを有し、フィルタには、荷電粒子線をそのまま通過させる通過部が形成されており、制御手段は、スキヤニング照射手段を作動させる際、荷電粒子線が通過部を通過するようにフィルタを移動さ

10

20

30

40

50

せることが好ましい。この場合、スキヤニング照射の際、フィルタを移動させて荷電粒子線を通過部に通過させることで、フィルタを退避状態とすることができる。

【0012】

また、ワブラー照射手段は、走査電磁石の下流側に配置され荷電粒子線を拡散させる散乱体を有し、荷電粒子線が通過する経路のうち散乱体より上流側は、真空に封止されている場合がある。スキヤニング照射では、荷電粒子線を収束させて照射することから、荷電粒子線の経路を真空に封止することが望ましい。これは、荷電粒子線の経路を真空とすると、荷電粒子線の拡散を抑制できるためである。他方、ワブラー照射では、荷電粒子線を拡散させて照射することから、上記のようにワブラー照射手段が散乱体を有する場合がある。ここで、通常、散乱体は、その大きさ（厚さ）等の構造上の点から真空中に配置するのが困難であるため、大気中に配置されるのが一般的である。そこで、本発明では、走査電磁石の下流側に散乱体を配置し、この散乱体より上流側の荷電粒子線の経路を真空に封止している。これにより、ワブラー照射時では散乱体で荷電粒子線を拡散でき、且つスキヤニング照射時では荷電粒子線の拡散を抑制することができる。

10

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、ワブラー法及びスキヤニング法の双方によって荷電粒子線を照射することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、以下の説明において同一又は相当要素には同一符号を付し、重複する説明は省略する。

20

【0015】

図1は本発明の一実施形態に係る荷電粒子線照射装置の斜視図である。図1に示すように、荷電粒子線照射装置1は、治療台11を取り囲むように設けられた回転ガントリ12に取り付けられ、該回転ガントリ12によって治療台11の回りに回転可能とされている。

【0016】

図2は、図1の荷電粒子線照射装置のワブラー照射時の概略構成図、図3は、図1の荷電粒子線照射装置のスキヤニング照射時の概略構成図である。図2、3に示すように、荷電粒子線照射装置1は、患者13の体内の腫瘍（被照射物）14に対し、ワブラー法及びスキヤニング法の双方の照射方法を使用して荷電粒子線Rを照射するものである。荷電粒子線Rとは、電荷をもった粒子を高速に加速したものであり、例えば陽子線、重粒子（重イオン）線等が挙げられる。なお、ワブラー法は、ブロードビーム法とも称される。

30

【0017】

図2、3に示すように、荷電粒子線照射装置1は、サイクロトロン2、走査電磁石3a、3b、モニタ4a、4b、ワブラー照射手段5、スキヤニング照射手段6及び制御装置7を備えている。

【0018】

サイクロトロン2は、荷電粒子線Rを発生させる発生源である。このサイクロトロン2は、制御装置7に接続されており、供給される電流が制御される。走査電磁石3a、3bは、制御装置7から供給される電流に応じて磁場を変化させ、通過する荷電粒子線Rを走査する。走査電磁石3aは、X方向に荷電粒子線Rを走査し、走査電磁石3bは、Y方向に荷電粒子線Rを走査する。これらの走査電磁石3a、3bは、荷電粒子線Rの照射軸（以下、単に「照射軸」という）においてサイクロトロン2の下流側にこの順で配置されている。

40

【0019】

モニタ4aは、荷電粒子線Rのビーム位置を監視し、モニタ4bは、荷電粒子線Rの線量の絶対値と荷電粒子線Rの線量分布とを監視する。各モニタ4a、4bは、監視した監視情報を制御装置7に出力する。モニタ4aは、照射軸においてサイクロトロン2の下流

50

側で走査電磁石 3 a の上流側に配置されている。モニタ 4 b は、照射軸において走査電磁石 3 b の下流側に配置されている。

【 0 0 2 0 】

ワブラー照射手段 5 は、荷電粒子線をワブラー法で照射するためのものであり、筐体 8 に取り付けられて保持されている。このワブラー照射手段 5 は、散乱体 2 1、リッジフィルタ 2 2、ファインデグレーダ 2 3 及びマルチリーフコリメータ 2 4 を有している。

【 0 0 2 1 】

散乱体 2 1 は、通過する荷電粒子線を、照射軸と直交する方向に広がりを持つ幅広のビームに拡散する。この散乱体 2 1 は、板状を呈し、例えば厚さ数 mm の鉛で形成されている。散乱体 2 1 は、照射軸において走査電磁石 3 b の下流側でモニタ 4 b の上流側に配置されている。また、散乱体 2 1 は、スキャニング照射の際、制御装置 7 の制御で照射軸から離れるように移動し、荷電粒子線 R が通過しない状態とされる（図 3 参照）。つまり、散乱体 2 1 は、スキャニング照射時において、荷電粒子線 R の照射を妨げない状態である退避状態とされる。

10

【 0 0 2 2 】

リッジフィルタ 2 2 は、荷電粒子線 R の線量分布を調整するものである。具体的には、リッジフィルタ 2 2 は、患者 1 3 の体内の腫瘍 1 4 の厚さ（照射方向の長さ）に対応するように、荷電粒子線 R に拡大ブラッグピーク（SOBP）を与える。

【 0 0 2 3 】

図 4 は、図 2 の IV - IV に沿ってのリッジフィルタの断面図である。図 4 に示すように、リッジフィルタ 2 2 は、ステージ 2 2 a に複数のフィルタ部 2 2 b がマトリクス状に設けられて構成されている。これらのフィルタ部 2 2 b は、階段状に厚さの変化する金属棒が簾状に並べられてなり、異なる SOBP を金属棒の形状の相違によって形成する。このステージ 2 2 a には、荷電粒子線 R に SOBP を与えずに荷電粒子線 R をそのまま通過させる開口であるブランク部（通過部）2 2 c が設けられている。そして、リッジフィルタ 2 2 は、制御装置 7 の制御で移動され、荷電粒子線 R を通過させるフィルタ部 2 2 b が選択的に変更される。これにより、荷電粒子線 R における SOBP のピーク幅及び位置を調整することができる。

20

【 0 0 2 4 】

図 2 , 3 に戻り、このリッジフィルタ 2 2 は、照射軸において散乱体 2 1 の下流側でモニタ 4 b の上流側に配置されている。また、リッジフィルタ 2 2 は、スキャニング照射の際、制御装置 7 の制御で移動され、荷電粒子線 R がブランク部（通過部）2 2 c を通過するように配置される（図 3 参照）。つまり、リッジフィルタ 2 2 は、スキャニング照射時に退避状態とされる。

30

【 0 0 2 5 】

ファインデグレーダ 2 3 は、通過する荷電粒子線 R のエネルギー損失を変化させて、患者 1 3 の体内における荷電粒子線 R の到達深さを調整する。具体的には、ファインデグレーダ 2 3 は、互いに積層された複数のブロック 2 3 a を有し、これらの重なり方を調節することで、荷電粒子線 R が通過する厚さを変化させる。これにより、荷電粒子線 R は、通過したブロック 2 3 a の厚さに応じてエネルギーを失い、到達深さが変化することとなる。

40

【 0 0 2 6 】

このファインデグレーダ 2 3 は、照射軸においてリッジフィルタ 2 2 とモニタ 4 b との間に配置されている。また、ファインデグレーダ 2 3 は、スキャニング照射の際、制御装置 7 の制御によって各ブロック 2 3 a が照射軸から離れるように移動され、荷電粒子線 R がブロック 2 3 a を通過しない状態とされる（図 3 参照）。つまり、ファインデグレーダ 2 3 は、スキャニング照射時に退避状態とされる。

【 0 0 2 7 】

マルチリーフコリメータ（Multi Leaf Collimator: 以下、「MLC」という）2 4 は、照射方向と垂直な平面方向における荷電粒子線 R の形状（平面形状）を整形するものであ

50

り、複数の櫛歯を含む遮線部 24 a , 24 b を有している。遮線部 24 a , 24 b は、互いに突き合わせるように配置されており、これらの遮線部 24 a , 24 b 間には、開口部 24 c が形成されている。この MLC 24 は、開口部 24 c に荷電粒子線 R を通過させることで、開口部 24 c の形状に対応する輪郭に荷電粒子線 R を切り取る。

【0028】

また、MLC 24 は、照射軸と直交する方向に遮線部 24 a , 24 b を進退させることで、開口部 24 c の位置及び形状を変化することが可能となっている。さらに、MLC 24 は、リニアガイド 28 で照射方向に沿って案内されており、照射方向に沿って移動可能になっている。

【0029】

この MLC 24 は、照射軸においてモニタ 4 b の下流側に配置されている。また、MLC 24 は、スキャニング照射の際、制御装置 7 の制御により、開口部 24 c が拡大されると共に照射方向の上流側へ移動される(図 3 参照)。ここでの MLC 24 では、スキャニング照射時において、最大開口面積となるように開口部 24 c が拡大されると共に、上流側の移動限まで移動される。すなわち、MLC 24 は、スキャニング照射時に退避状態とされる。

【0030】

また、ワブラー照射手段 5 は、スノートホルダ(荷電粒子線整形ユニット) 25 をさらに有している。スノートホルダ 25 は、ワブラー照射に際して患者 13 毎に予め作成され準備されるものである。このスノートホルダ 25 は、照射方向における筐体 8 の先端部 8 a に着脱可能とされ、また、後述のファインデグレーダホルダ 32 と相互に付け替え可能となっている。スノートホルダ 25 は、その内部にボラス 26 と患者コリメータ 27 とを含んでいる。

【0031】

ボラス 26 は、荷電粒子線 R の最大到達深さの部分の立体形状を、腫瘍 14 の最大深さ部分の形状に合わせて整形する。このボラス 26 の形状は、例えば、腫瘍 14 の輪郭線と、X 線 CT のデータから求められる周辺組織の電子密度とに基づいて算出される。ボラス 26 は、照射軸において MLC 24 の下流側に配置されている。患者コリメータ 27 は、荷電粒子線 R の平面形状を腫瘍 14 の平面形状に合わせて最終的に整形するものである。この患者コリメータ 27 は、照射軸においてボラス 26 の下流側に配置されており、MLC 24 の代わりとして用いられる。

【0032】

また、スノートホルダ 25 には、リミットスイッチ 25 a が設けられている。リミットスイッチ 25 a は、スノートホルダ 25 が筐体 8 に取り付けられた際、筐体 8 の取付孔 8 b に入力されることで ON (オン) とされる。また、リミットスイッチ 25 a は、制御装置 7 に接続されており、スイッチ情報を制御装置 7 に出力する。

【0033】

スキャニング照射手段 6 は、荷電粒子線をスキャニング法で照射するためのものであり、ワブラー照射手段 5 と同様に筐体 8 に取り付けられて保持されている。このスキャニング照射手段 6 は、収束体 31 a , 31 b 及びファインデグレーダホルダ(到達深さ調整ユニット) 32 を有している。

【0034】

収束体 31 a , 31 b は、例えば荷電粒子線 R を絞って収束させるものであり、ここでは、電磁石が用いられている。収束体 31 a は、照射軸においてサイクロトロン 2 とモニタ 4 a との間に配置され、収束体 31 b は、照射軸においてモニタ 4 a と走査電磁石 3 a との間に配置されている。また、これらの収束体 31 a , 31 b は、ワブラー照射の際、制御装置 7 の制御によって電流が非供給にされて機能が停止され、荷電粒子線 R を収束せずにそのまま通過させる。つまり、収束体 31 a , 31 b は、ワブラー照射時に退避状態とされる。

【0035】

10

20

30

40

50

ファインデグレーダホルダ32は、照射方向における筐体8の先端部8aに着脱可能とされ、また、上述のスノートホルダ25と相互に付け替え可能となっている。このファインデグレーダホルダ32は、その内部にファインデグレーダ33を含んでいる。

【0036】

ファインデグレーダ33は、通過する荷電粒子線Rのエネルギー損失を変化させて、患者13の体内における荷電粒子線Rの最大到達深さを最終的に調整する。具体的には、ファインデグレーダ33は、所定の重なり方で互いに積層された複数のブロック33aを有しており、通過したブロック33aの厚さに応じて荷電粒子線Rのエネルギーを失わせ、荷電粒子線Rの最大到達深さを腫瘍14の最大深さ部分の形状に合わせる。なお、サイクロトロン2と収束体31aとの中間においてエネルギー損失を変化させる方法もあり、この場合には、ファインデグレーダ33は不要となる。

10

【0037】

このファインデグレーダホルダ32には、リミットスイッチ32aが設けられている。リミットスイッチ32aは、ファインデグレーダホルダ32が筐体8に取り付けられた際、筐体8の取付孔8cに進入されることでON(オン)とされる。また、リミットスイッチ32aは、制御装置7に接続されており、スイッチ情報を制御装置7に出力する。

【0038】

制御装置7は、例えばCPU、ROM、及びRAM等により構成されている。この制御装置7は、モニタ4a、4bから出力された監視情報、及びリミットスイッチ25a、32aから出力されたスイッチ情報に基づいて、サイクロトロン2、走査電磁石3a、3b

20

、ワブラー照射手段5及びスキヤニング照射手段6を制御する(詳しくは、後述)。

【0039】

また、荷電粒子線照射装置1では、荷電粒子線Rが通過する経路のうち散乱体21より上流側が、パイプ41で覆われ封止されており、このパイプ41内が、真空にされている。ここでは、例えば $10^{-3}$  [Pa]になるまでパイプ41内を真空ポンプ(不図示)で真空引きしている。

【0040】

次に、荷電粒子線照射装置1を用い、患者13の腫瘍14に対して荷電粒子線Rを照射する場合について説明する。

【0041】

30

荷電粒子線照射装置1では、ワブラー照射を行う場合、図2に示すように、まず、筐体8の先端部8aにスノートホルダ25を取り付ける。そして、制御装置7によってワブラー照射手段5を作動させる。具体的には、荷電粒子線Rが通過するように散乱体21が移動され、荷電粒子線Rがフィルタ部22bを通過するようにリッジフィルタ22が移動される。さらに、ファインデグレーダ23のブロック23aが調節されてその厚さが所定厚さとされ、MLC24の遮線部24a、24bが進退されて開口部24cが所定形状とされる。これと共に、制御装置7によって収束体31a、31bが退避状態にされる。

【0042】

続いて、サイクロトロン2から荷電粒子線Rを発生させる。発生された荷電粒子線Rは、走査電磁石3a、3bによって円を描くように走査されて拡散された後、リッジフィルタ22、ファインデグレーダ23、MLC24、ポララス26及び患者コリメータ27によって整形及び調整される。これにより、腫瘍14の形状に沿った一様照射野をもって腫瘍14に荷電粒子線Rが照射されることとなる。

40

【0043】

ここで、スノートホルダ25を筐体8に取り付けた際には、リミットスイッチ25aがONとされ、制御装置7によってスキヤニング照射手段6が退避状態であるか否かが判定される。退避状態であると判定された場合、例えばサイン波の波形を有する電流が走査電磁石3a、3bに供給され、上述のようにサイクロトロン2から荷電粒子線Rが発生される一方、退避状態でないと判定された場合、走査電磁石3a、3bへの電流の供給が行われない。

50

## 【0044】

さらに、リミットスイッチ25aがONのとき、制御装置7によって走査電磁石3a, 3bが制御される。具体的には、走査電磁石3a, 3bに供給される電流がワブラー照射モードとされ、上述したように荷電粒子線Rが円を描くように走査される。

## 【0045】

また、荷電粒子線照射装置1では、スキャンニング照射を行う場合、図3に示すように、まず、筐体8の先端部8aにファインデグレーダホルダ32を取り付ける。そして、制御装置7によってワブラー照射手段5を作動させる。具体的には、通過する荷電粒子線Rが収束するように収束体31a, 31bが作動状態(ON)とされる。これと共に、制御装置7によってワブラー照射手段5が退避状態とされる。なお、前述のように、サイクロトロン2と収束体31aとの間でエネルギー損失を変化させる方法では、ファインデグレーダホルダ32の取り付けは不要となる。

10

## 【0046】

続いて、サイクロトロン2から荷電粒子線Rを発生させる。発生した荷電粒子線Rは、走査電磁石3a, 3bで腫瘍14上にて走査されると共に、リッジフィルタ22のブランク部22cを通過し、ファインデグレーダ33で荷電粒子線Rの最大到達深さが調整される。これにより、荷電粒子線Rは、腫瘍14上にて走査されつつ照射されることとなる。

## 【0047】

ここで、ファインデグレーダホルダ32を筐体8に取り付けた際には、リミットスイッチ32aがONとされ、制御装置7によってワブラー照射手段5が退避状態であるか否かが判定される。退避状態であると判定された場合、例えば矩形波又は三角波の波形を有する電流が走査電磁石3a, 3bに供給され、上述のようにサイクロトロン2から荷電粒子線Rが発生される。一方、退避状態でないと判定された場合、走査電磁石3a, 3bへの電流の供給が行われぬ。

20

## 【0048】

さらに、リミットスイッチ32aがONのとき、制御装置7によって走査電磁石3a, 3bが制御される。具体的には、走査電磁石3a, 3bに供給される電流がスキャンニング照射モードとされ、上述したように荷電粒子線Rが腫瘍14上にて走査される。

## 【0049】

以上、本実施形態の荷電粒子線照射装置1では、荷電粒子線Rを照射するに際し、ワブラー照射手段5又はスキャンニング照射手段6の何れか一方が作動されると共に、何れか他方が荷電粒子線Rの照射が妨げられないように退避状態とされる。従って、荷電粒子線照射装置1によれば、ワブラー照射及びスキャンニング照射のそれぞれを、その一方が他方に悪影響を及ぼすことなく実現することができ、ワブラー法及びスキャンニング法の双方によって荷電粒子線Rを照射することが可能となる。その結果、荷電粒子線照射装置1における照射の自由度を高めることができる。さらに、ワブラー照射及びスキャンニング照射のそれぞれで走査電磁石3a, 3bを兼用することができ、よって、これらの各照射を好適に行うことが可能となる。

30

## 【0050】

また、荷電粒子線照射装置1は、上述したように、スノートホルダ25及びファインデグレーダホルダ32が、筐体8に対して相互に付け替え可能に構成されている。そのため、荷電粒子線Rを照射する際、スノートホルダ25及びファインデグレーダホルダ32を相互に付け替えることで、ワブラー照射とスキャンニング照射との双方を実現することができる。さらに、このように、スノートホルダ25及びファインデグレーダホルダ32が相互に付け替え可能に構成されているため、これらを荷電粒子線照射装置1に常に搭載しておくことが不要となり、荷電粒子線照射装置1の小型化が可能となる。

40

## 【0051】

また、荷電粒子線照射装置1では、上述したように、スノートホルダ25にリミットスイッチ25aが設けられており、ファインデグレーダホルダ32にリミットスイッチ32aが設けられている。そして、制御装置7は、これらのリミットスイッチ25a, 32a

50



のスイッチ情報に基づいて、走査電磁石 3 a , 3 b を制御する。加えて、制御装置 7 は、かかるスイッチ情報に基づいて、ワブラー照射手段 5 又はスキャニング照射手段 6 の退避状態を判定する。これにより、ホルダ 2 5 , 3 2 のうちの何れが筐体 8 に取り付けられているかを識別し、ワブラー照射とスキャニング照射を互いに切り替える際の誤操作や誤動作を防止すること（いわゆるインターロック）が可能となる。その結果、意図しない照射方法で荷電粒子線 R が照射されるのを抑止でき、荷電粒子線照射装置 1 の安全性を高めることができる。

【 0 0 5 2 】

また、上述したように、スキャニング照射の際、M L C 2 4 の開口部 2 4 c が拡大されると共に、この M L C 2 4 が照射方向の上流側へ移動される。このように M L C 2 4 を退避状態にすることで、スキャニング照射時に広い照射野を確保することができる。

10

【 0 0 5 3 】

また、上述したように、リッジフィルタ 2 2 には、荷電粒子線 R をそのまま通過させるブランク部 2 2 c が形成されている。よって、スキャニング照射の際、制御装置 7 でリッジフィルタ 2 2 を制御し、荷電粒子線 R がブランク部 2 2 c を通過するようにリッジフィルタ 2 2 を移動させることで、リッジフィルタ 2 2 を好適に退避状態とすることができる。

【 0 0 5 4 】

ところで、スキャニング照射では、荷電粒子線 R を収束させて照射することから、荷電粒子線 R の経路を真空に封止することが望ましい。これは、荷電粒子線 R の経路を真空とすると、荷電粒子線 R の拡散を抑制できるためである。他方、ワブラー照射では、荷電粒子線 R を拡散させて照射することから、ワブラー照射手段 5 が散乱体 2 1 を有している。この散乱体 2 1 は、その厚さ方向にボリュームがあり、大きさ等の構造上の点で真空中に配置するのが困難であるため、大気中に配置されるのが一般的である。そこで、荷電粒子線照射装置 1 では、上述したように、走査電磁石 3 a , 3 b の下流側に散乱体 2 1 を配置し、この散乱体 2 1 よりも上流側の荷電粒子線 R の経路を真空に封止している。これにより、ワブラー照射時では散乱体 2 1 で荷電粒子線 R を拡散でき、且つスキャニング照射時では荷電粒子線 R の拡散を抑制することができる。その結果、スキャニング照射の際の走査電磁石 3 a , 3 b においては、拡散していない状態で荷電粒子線 R を走査することができ、スキャニング照射を高精度化することが可能となる。

20

30

【 0 0 5 5 】

なお、荷電粒子線照射装置 1 におけるスキャニング法としては、照射領域がスポット状になるよう荷電粒子線 R を照射するスポットスキャニング法、荷電粒子線 R をジグザグに走査しつつ連続照射するラスタースキャニング法、荷電粒子線 R を平行に走査しつつ連続照射するラインスキャニング法等が挙げられる。本実施形態のようにサイクロトロン 2 を採用すると、荷電粒子線 R が連続的に発生されるため、スキャニング法としては、ラスタースキャニング法又はラインスキャニング法が好ましい。シンクロトロンを採用すると、荷電粒子線 R が断続（パルス）的に発生されるため、スキャニング法としてはスポットスキャニング法が好ましい。

【 0 0 5 6 】

40

以上、本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。例えば、上記実施形態では、各ホルダ 2 5 , 3 2 にリミットスイッチ 2 5 a , 3 2 a をそれぞれ設けたが、リミットスイッチ 2 5 a , 3 2 a の何れか一方のみを設けてもよい。また、リミットスイッチ 2 5 a , 3 2 a は、ホルダ 2 5 , 3 2 が筐体 8 に取り付けられた際にオンとされるものであるが、取り付けられた際にオフとされるものであってもよい。

【 0 0 5 7 】

また、上記実施形態では、リッジフィルタ 2 2 にブランク部 2 2 c を通過部として設けたが、この通過部は、荷電粒子線 R を実質的にそのまま通過（透過）させるものであればフィルタ等であってもよい。

50

【図面の簡単な説明】

【0058】

【図1】本発明の一実施形態に係る荷電粒子線照射装置の斜視図である。

【図2】図1の荷電粒子線照射装置のワブラー照射時の概略構成図である。

【図3】図1の荷電粒子線照射装置のスキャン照射時の概略構成図である。

【図4】図2のIV-IVに沿ってのリッジフィルタの断面図である。

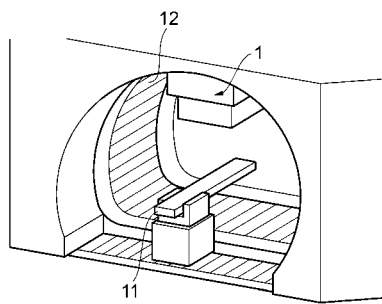
【符号の説明】

【0059】

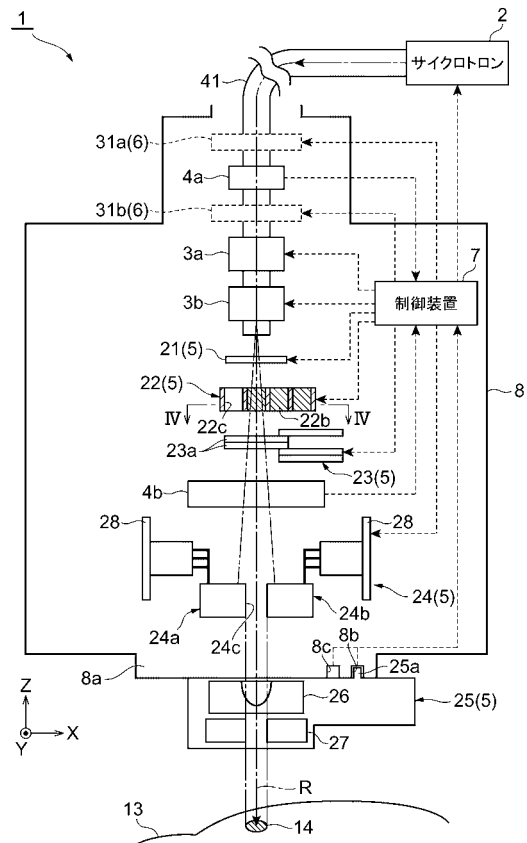
1 ... 荷電粒子線照射装置、3 a , 3 b ... 走査電磁石、5 ... ワブラー照射手段、6 ... スキャン照射手段、7 ... 制御装置（制御手段）、8 ... 筐体、14 ... 被照射物、21 ... 散乱体、22 ... リッジフィルタ（フィルタ）、22 c ... ブランク部（通過部）、24 ... MLC（コリメータ）、24 c ... 開口部、25 ... スノートホルダ（荷電粒子線整形ユニット）、25 a ... リミットスイッチ（第1スイッチ）、32 ... ファインデグレダホルダ（到達深さ調整ユニット）、32 a ... リミットスイッチ（第2スイッチ）、R ... 荷電粒子線。

10

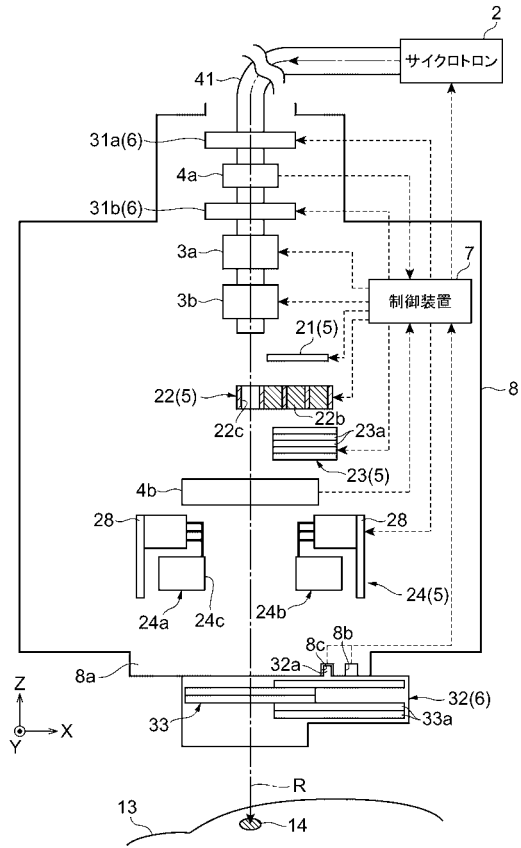
【図1】



【図2】



【 図 3 】



【 図 4 】

