

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5670126号  
(P5670126)

(45) 発行日 平成27年2月18日 (2015. 2. 18)

(24) 登録日 平成26年12月26日 (2014. 12. 26)

(51) Int. Cl.	F 1					
<b>A 6 1 N</b>	<b>5/10</b>	<b>(2006. 01)</b>	A 6 1 N	5/10	H	
<b>G 2 1 K</b>	<b>1/00</b>	<b>(2006. 01)</b>	G 2 1 K	1/00	A	
<b>G 2 1 K</b>	<b>5/04</b>	<b>(2006. 01)</b>	G 2 1 K	5/04	A	
			G 2 1 K	5/04	C	

請求項の数 4 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2010-189816 (P2010-189816)	(73) 特許権者	000002107
(22) 出願日	平成22年8月26日 (2010. 8. 26)		住友重機械工業株式会社
(65) 公開番号	特開2012-45166 (P2012-45166A)		東京都品川区大崎二丁目1番1号
(43) 公開日	平成24年3月8日 (2012. 3. 8)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	平成24年10月12日 (2012. 10. 12)		弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100113435
			弁理士 黒木 義樹
		(72) 発明者	橘 正則
			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	堀川 泰宏

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子線照射装置、荷電粒子線照射方法及び荷電粒子線照射プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被照射物に荷電粒子線を照射する荷電粒子線照射装置であって、  
前記被照射物へ照射される前記荷電粒子線を走査する走査手段と、  
前記走査手段により前記被照射物上を走査される前記荷電粒子線の走査ライン上の複数の目標走査位置のそれぞれにおける前記荷電粒子線の照射量を設定する照射量設定手段と

、  
前記照射量設定手段により設定された照射量に基づき、前記目標走査位置のそれぞれにおける前記荷電粒子線の目標走査速度を設定する走査速度設定手段と、

前記目標走査位置及び前記目標走査速度にしたがって、前記荷電粒子線が前記被照射物上にて走査されるよう前記走査手段を制御する制御手段と、

前記荷電粒子線のビーム強度を検知するビーム強度検知手段と、を備え、

前記制御手段は、

前記ビーム強度検知手段で検知された前記ビーム強度が所定の誤差範囲外に変動した場合には、当該変動を相殺するように前記走査手段による走査速度を調整することを特徴とする荷電粒子線照射装置。

【請求項2】

前記走査手段により前記被照射物上を走査された前記荷電粒子線の走査位置及び走査速度を計測する計測手段を備え、

前記制御手段は、前記目標走査位置と前記計測手段により計測された前記走査位置との

誤差が無くなるように、また、前記目標走査速度と前記計測手段により計測された前記走査速度との誤差が無くなるように、前記走査手段への制御入力を調整する位置速度フィードバック制御を行い、前記走査手段を制御することを特徴とする、請求項1に記載の荷電粒子線照射装置。

【請求項3】

荷電粒子線照射装置により、被照射物に荷電粒子線を照射する荷電粒子線照射方法であって、

照射量設定手段が、走査手段により前記被照射物上を走査される前記荷電粒子線の走査ライン上の複数の目標走査位置のそれぞれにおける前記荷電粒子線の照射量を設定する照射量設定ステップと、

走査速度設定手段が、前記照射量設定ステップにおいて設定された照射量に基づき、前記目標走査位置のそれぞれにおける前記荷電粒子線の目標走査速度を設定する走査速度設定ステップと、

制御手段が、前記目標走査位置及び前記目標走査速度にしたがって、前記荷電粒子線が前記被照射物上にて走査されるよう前記走査手段を制御する制御ステップと、

を備え、

前記制御ステップにおいて、荷電粒子線のビーム強度を検知するビーム強度検知手段で検知された前記ビーム強度が所定の誤差範囲外に変動した場合には、当該変動を相殺するように前記走査手段による走査速度を調整することを特徴とする荷電粒子線照射方法。

【請求項4】

被照射物に荷電粒子線を照射する荷電粒子線照射プログラムであって、

走査手段により前記被照射物上を走査される前記荷電粒子線の走査ライン上の複数の目標走査位置のそれぞれにおける前記荷電粒子線の照射量を設定する照射量設定機能と、

前記照射量設定機能により設定された照射量に基づき、前記目標走査位置のそれぞれにおける前記荷電粒子線の目標走査速度を設定する走査速度設定機能と、

前記目標走査位置及び前記目標走査速度にしたがって、前記荷電粒子線が前記被照射物上にて走査されるよう前記走査手段を制御し、荷電粒子線のビーム強度を検知するビーム強度検知手段で検知された前記ビーム強度が所定の誤差範囲外に変動した場合には、当該変動を相殺するように前記走査手段による走査速度を調整する制御機能と、

をコンピュータに実現させるための荷電粒子線照射プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、荷電粒子線照射装置、荷電粒子線照射方法及び荷電粒子線照射プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、被照射物（例えば患者体内の腫瘍）に陽子線などの荷電粒子線を照射して、被照射物に治療を施すための荷電粒子線照射装置が知られている。このような装置に関する技術として、例えば特許文献1には、被照射物への荷電粒子線の照射量を調整するために、荷電粒子線のビーム強度を変調することが記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2000-354637号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ここで、荷電粒子線のビーム強度は不安定なものであるため、これを正確に変調させるのは難しい。このため、特許文献1に記載されるようにビーム強度を制御量として荷電粒

10

20

30

40

50

子線の照射量を調整する手法では、照射量を精度良く制御することができないという問題があった。

【0005】

また、荷電粒子線照射装置の適用分野では、例えば患者体内の腫瘍の放射線治療など、被照射物の周囲に荷電粒子線を照射することなく、被照射物のみ荷電粒子線を照射することが望ましいため、荷電粒子線を高精度に所望の被照射物に照射できることが求められている。

【0006】

本発明は、上記の問題点を解決するためになされたものであり、荷電粒子線の照射量を精度良く制御できる荷電粒子線照射装置、荷電粒子線照射方法及び荷電粒子線照射プログラムを提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明者らは、鋭意研究を重ねた結果、荷電粒子線の照射量を精度良く制御するには、荷電粒子線の走査速度が影響していることを見出した。

【0008】

そこで、上記課題を解決するために、本発明に係る荷電粒子線照射装置は、被照射物に荷電粒子線を照射する荷電粒子線照射装置であって、被照射物へ照射される荷電粒子線を走査する走査手段と、走査手段により被照射物上を走査される荷電粒子線の走査ライン上の複数の目標走査位置のそれぞれにおける荷電粒子線の照射量を設定する照射量設定手段と、照射量設定手段により設定された照射量に基づき、目標走査位置のそれぞれにおける荷電粒子線の目標走査速度を設定する走査速度設定手段と、を備えることを特徴とする。

20

【0009】

同様に、上記課題を解決するために、本発明に係る荷電粒子線照射方法は、被照射物に荷電粒子線を照射する荷電粒子線照射方法であって、走査手段により被照射物上を走査される荷電粒子線の走査ライン上の複数の目標走査位置のそれぞれにおける荷電粒子線の照射量を設定する照射量設定ステップと、照射量設定ステップにおいて設定された照射量に基づき、目標走査位置のそれぞれにおける荷電粒子線の目標走査速度を設定する走査速度設定ステップと、を備えることを特徴とする。

【0010】

30

同様に、上記課題を解決するために、本発明に係る荷電粒子線照射プログラムは、被照射物に荷電粒子線を照射する荷電粒子線照射プログラムであって、走査手段により被照射物上を走査される荷電粒子線の走査ライン上の複数の目標走査位置のそれぞれにおける荷電粒子線の照射量を設定する照射量設定機能と、照射量設定機能により設定された照射量に基づき、目標走査位置のそれぞれにおける荷電粒子線の目標走査速度を設定する走査速度設定機能と、をコンピュータに実現させることを特徴とする。

【0011】

このような荷電粒子線照射装置、荷電粒子線照射方法及び荷電粒子線照射プログラムによれば、被照射物上の荷電粒子線の複数の目標走査位置のそれぞれにおける荷電粒子線の照射量が設定されると、この照射量に基づき、各目標走査位置における荷電粒子線の目標走査速度が設定される。荷電粒子線の走査速度は、従来、荷電粒子線の照射量の制御量として用いられていたビーム強度と比べて、安定させることが容易であるため、所望の値に正確に変調させることが可能である。したがって、目標走査速度を荷電粒子線の照射量を調整するための制御量として用いることによって、制御量を所望の値に正確に変調させることが可能となり、この結果、荷電粒子線の照射量を精度良く制御できる。

40

【0012】

また、荷電粒子線照射装置は、目標走査位置及び目標走査速度にしたがって、荷電粒子線が被照射物上にて走査されるよう走査手段を制御する制御手段を備えることが好適である。

【0013】

50

この構成により、安定した調整が可能な目標走査速度を、荷電粒子線の照射量を調整するための制御量として用いることによって、制御量を所望の値に正確に変調させることが可能となり、この結果、荷電粒子線の照射量を精度良く制御できる。

【0014】

また、荷電粒子線照射装置は、走査手段により被照射物上を走査された荷電粒子線の走査位置及び走査速度を計測する計測手段を備え、制御手段は、目標走査位置と計測手段により計測された走査位置との誤差が無くなるように、また、目標走査速度と計測手段により計測された走査速度との誤差が無くなるように、走査手段への制御入力を調整する位置速度フィードバック制御を行い、走査手段を制御することが好適である。

【0015】

この構成により、荷電粒子線の走査位置及び走査速度に基づき位置速度フィードバック制御を行って走査手段を制御するので、目標走査位置及び目標走査速度への追従性が向上し、荷電粒子線の照射量をより一層高精度に制御することができる。

【0016】

また、本発明の荷電粒子線照射装置は、荷電粒子線のビーム強度を検知するビーム強度検知手段を更に備え、制御手段は、ビーム強度検知手段で検知されたビーム強度が所定の誤差範囲外に変動した場合には、当該変動を相殺するように走査手段による走査速度を調整することが好ましい。

【0017】

この構成によれば、荷電粒子線のビーム強度が変動した場合にも、正確な照射量での荷電粒子線の照射を継続することができる。

【発明の効果】

【0018】

本発明に係る荷電粒子線照射装置、荷電粒子線照射方法及び荷電粒子線照射プログラムによれば、荷電粒子線の照射量を精度良く制御できる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の一実施形態に係る荷電粒子線照射装置が適用される荷電粒子線治療装置を示す斜視図である。

【図2】図1の荷電粒子線照射装置を示す斜視図である。

【図3】荷電粒子線照射装置の制御系を示す図である。

【図4】走査制御部における位置・フィードバック制御を表すブロック線図である。

【図5】本実施形態の荷電粒子線照射装置において実行される処理を示すフローチャートである。

【図6】本発明に係る荷電粒子線照射プログラムの構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、図面を参照しつつ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。

【0021】

図1は、本発明の一実施形態に係る荷電粒子線照射装置が適用される荷電粒子線治療装置を示す斜視図であり、図2は、図1の荷電粒子線照射装置を示す斜視図であり、図3は、荷電粒子線照射装置の制御系を示す図である。

【0022】

図1に示すように、照射部1は、荷電粒子線照射装置100において、治療台105を取り囲むように設けられた回転ガントリ103に取り付けられ、この回転ガントリ103によって治療台105の回りに回転可能とされている。そして、治療台105の患者の体内の腫瘍52（被照射物）に対して、照射方向Aで荷電粒子線R（図3参照）を照射する。なお、図1には示されていないが、荷電粒子線照射装置100は、治療台105及び回転ガントリ103とは離れた位置に荷電粒子線Rを生成するサイクロトロンを備え、ビー

10

20

30

40

50

ム輸送系を介してサイクロトロンと照射部 1 とを連結している。

【 0 0 2 3 】

この照射部 1 は、図 3 に示すように、スキヤニング方式により、治療台 1 0 5 上の患者 5 1 の体内の腫瘍 5 2 に向けて荷電粒子線 R を連続照射する。具体的には、照射部 1 は、腫瘍 5 2 を深さ方向（Z 方向または照射方向 A）に複数層に分け、各層に設定された照射野 F において走査ライン L に沿って荷電粒子線 R を走査速度 V で走査しながら連続照射（いわゆる、ラスタースキヤニングあるいはラインスキヤニング）する。つまり、照射部 1 は、腫瘍 5 2 に合わせた 3 次元の照射野を形成するため、腫瘍 5 2 を複数の層に分割してこれらの各層のそれぞれに対して平面スキヤニングを行う。これにより、腫瘍 5 2 の 3 次元形状に合わせて荷電粒子線 R が照射されることとなる。

10

【 0 0 2 4 】

荷電粒子線 R は、電荷をもった粒子を高速に加速したものであり、荷電粒子線 R としては、例えば陽子線、重粒子（重イオン）線、電子線等が挙げられる。照射野 F は、例えば最大 2 0 0 mm × 2 0 0 mm の領域とされ、その外形が矩形状とされている。なお、照射野 F の形状は、種々の形状としてもよく、例えば腫瘍 5 2 の形状に沿った形状としても勿論よい。走査ライン L は、荷電粒子線 R を照射する予定線（仮想線）であり、上述の矩形状の照射野 F の場合、走査ライン L は、ラインスキヤニングを例にとると、矩形波状に延在している。

【 0 0 2 5 】

図 2 に示すように、照射部 1 は、荷電粒子線 R の照射方向 A に順に配列され、ビーム輸送ラインを介してサイクロトロンから入力された荷電粒子線 R が発散するのを抑え収束させるための四極磁石 2 と、荷電粒子線 R を X 方向と Y 方向に走査する走査磁石（スキヤニングマグネット）（走査手段）3 と、照射した荷電粒子線 R の線量（ビーム強度）を測定する線量モニタ（ビーム強度検知手段）4 と、荷電粒子線 R を照射する前後に腫瘍 5 2 の位置・大きさ・形状を確認するため X 線により CT 画像を撮影する際に X 線を照射する X 線管 5 と、照射野 F のビーム（加速粒子線）の平坦度合い（ビームが到達した奥行き平坦度合い）を測定する平坦モニタ（フラットネスモニタ）6 と、荷電粒子線 R が存在する X 方向と Y 方向の位置を測定するビーム位置モニタ（計測手段）7 と、を備えている。

20

【 0 0 2 6 】

なお、図 3 に示すように、X 方向及び Y 方向とは、Z 方向（照射方向 A）と直交し、さらに相互に直交する 2 方向であり、腫瘍 5 2 の照射野 F のなす平面上の位置を特定する 2 方向である。また、図 3 に示すように、走査磁石 3 は、荷電粒子線 R の X 方向の走査位置を制御するための一組の電磁石 3 a と、Y 方向の走査位置を調整するための一組の電磁石 3 b と、を含んで構成される。ビーム位置モニタ 7 は、荷電粒子線 R の X 方向の走査位置を検知するためのグリッドワイヤ 7 a と、Y 方向の走査位置を検知するためのグリッドワイヤ 7 b とを含んで構成される。

30

【 0 0 2 7 】

特に本実施形態では、照射部 1 は、照射野 F 上の走査ライン L の各走査位置において、荷電粒子線 R の照射量を当該走査位置における走査速度に基づき調整するよう構成されている。ここで、本実施形態では、荷電粒子線 R の「照射量」は、腫瘍 5 2 に照射される荷電粒子の量を意味するものとして用いられる。

40

【 0 0 2 8 】

以下、図 3 を参照して、照射部 1 の制御系について説明する。図 3 には、照射部 1 の制御系として、照射部 1 の走査磁石 3 と、ビーム位置モニタ 7 とが示され、さらに照射部 1 の外部に配置され、走査磁石 3 及びビーム位置モニタ 7 と通信可能に接続される制御装置 8 が示されている。

【 0 0 2 9 】

制御装置 8 は、照射野 F における荷電粒子線 R の走査ライン L 上の目標走査位置ごとに照射量を決定し、この決定された照射量を実現すべく走査軌道（目標走査位置及び目標走査速度）を決定する。そして、ビーム位置モニタ 7 により計測される荷電粒子線 R の走査

50

軌道に基づき、走査磁石 3 の位置・速度フィードバック制御を行う。

【 0 0 3 0 】

制御装置 8 は、図 3 に示すように、走査ライン設定部 9、照射量設定部（照射量設定手段）10、走査速度設定部 11、及び走査制御部（制御手段）12を備えて構成される。

【 0 0 3 1 】

走査ライン設定部 9 は、走査磁石 3 により腫瘍 5 2 上にて走査される荷電粒子線 R の走査ライン L を設定する。より詳細には、走査ライン設定部 9 は、腫瘍 5 2 の照射野 F の形状に応じて、この照射野 F の全体にわたり荷電粒子線 R が照射されるように走査ライン L を設定する。例えば、照射野 F が矩形状の場合には、走査ライン L は矩形波状に形成される。走査ライン設定部 9 は、設定した走査ライン L 上に複数の目標走査位置を設定する。この目標走査位置は、後述する走査制御部 12 により、位置フィードバック制御の目標値として用いられる。目標走査位置は、例えば走査ライン L 上に等間隔で設定される。走査ライン設定部 9 は、目標走査位置の情報を照射量設定部 10 に送信する。

10

【 0 0 3 2 】

照射量設定部 10 は、走査ライン設定部 9 により設定された走査ライン L 上の各目標走査位置における荷電粒子線 R の照射量を決定する。荷電粒子線 R の照射量は、照射部 1 のオペレータの入力操作によって取得してもよいし、腫瘍の症状や照射野 F の深度などの諸条件に応じて、所与のデータベースなどを参照して設定してもよい。照射量設定部 10 は、各目標走査位置における荷電粒子線 R の照射量を設定すると、この情報を走査速度設定部 11 に送信する。

20

【 0 0 3 3 】

走査速度設定部 11 は、照射量設定部 10 により設定された照射量に基づき、目標走査位置のそれぞれにおける荷電粒子線 R の目標走査速度を設定する。荷電粒子線 R のビーム強度が一定である場合、荷電粒子線 R の照射量と走査速度との間には一意の対応関係があるので、走査速度設定部 11 は、例えば照射量と走査速度とを対応付けたテーブルを保持しておき、所与の照射量に応じた走査速度を選択して、目標走査速度として設定する。ここでは、所与の照射量が大きいほど目標走査速度を遅く設定し、所与の照射量が小さいほど目標走査速度を速く設定すればよい。走査速度設定部 11 は、設定した目標走査速度を、目標走査位置と対応付けて目標走査軌道とし、走査制御部 12 に送信する。

【 0 0 3 4 】

走査制御部 12 は、目標走査軌道（目標走査位置及び目標走査速度）にしたがって、荷電粒子線 R が腫瘍 5 2 上にて走査されるよう走査磁石 3 を制御する。走査制御部 12 は、具体的には、走査磁石 3 の磁力を調整する電流を発生する電源（図示せず）に対して走査磁石の制御入力として送信する電流強度を、位置・速度フィードバック制御する。より詳細には、目標走査位置とビーム位置モニタ 7 により計測された実際の荷電粒子線 R の走査位置との誤差が無くなるように、また、目標走査速度とビーム位置モニタ 7 により計測された実際の荷電粒子線 R の走査速度との誤差が無くなるように、位置・速度フィードバック制御を行い、走査磁石 3 への制御入力（電源の電流強度）を調整する。

30

【 0 0 3 5 】

ここで、図 4 を参照して、走査制御部 12 における位置・フィードバック制御の詳細を説明する。図 4 は、走査制御部 12 における位置・フィードバック制御を表すブロック線図である。図 4 において破線で囲んだ領域が、走査制御部 12 の処理と対応している。

40

【 0 0 3 6 】

まず、図 4 のブロック 12 a に示すように、時刻  $t$  における目標走査速度  $V_{ref}(t)$  と、ビーム位置モニタ 7 により計測された 1 ステップ前の時刻  $t - 1$  における走査速度  $V(t - 1)$  との差分に定数  $k$  を乗じて、次の (1) 式のように時刻  $t$  の走査速度  $V(t)$  を算出する。なお、走査速度  $V(t - 1)$  は、例えばブロック 12 d に示すように、ビーム位置モニタ 7 により計測された 1 ステップ前の時刻  $t - 1$  における荷電粒子線 R の走査位置  $P(t - 1)$  を、時刻  $t$  について一階微分して導出することができる。

$$v(t) = k \cdot (V_{ref}(t) - V(t - 1)) + V(t - 1) \quad (1)$$

50

## 【 0 0 3 7 】

次に、図 4 のブロック 1 2 b に示すように、( 1 ) 式で算出した走査速度  $V(t)$  に時間幅  $\Delta t$  (時刻  $t$  と  $t - 1$  との差分) を乗じて、次の ( 2 ) 式のように時刻  $t$  における理論上の走査位置  $P_c(t)$  を算出する。なお、この  $P_c(t)$  は、目標走査位置  $P_{ref}(t)$  と対応する値である。

$$P_c(t) = V(t) \cdot \Delta t + P(t - 1) \quad (2)$$

## 【 0 0 3 8 】

次に、図 4 のブロック 1 2 c に示すように、( 2 ) 式で算出した理論上の走査位置  $P_c(t)$  と、ビーム位置モニターにより計測された 1 ステップ前の時刻  $t - 1$  における走査位置  $P(t - 1)$  との差分に定数  $k'$  を乗じて、次の ( 3 ) 式のように走査磁石 3 への制御入力  $I(t)$  を算出する。この制御入力は、具体的には走査磁石 3 の磁力を発生させるための電源 ( 図示せず ) の電流強度である。

$$I(t) = k' \cdot (P_c(t) - P(t - 1)) \quad (3)$$

## 【 0 0 3 9 】

( 3 ) 式で算出された電流強度に基づき走査磁石 3 の電源の電流強度が調整されると、この電流強度に応じて走査磁石 3 の磁力が調整され、この結果、荷電粒子線 R の走査位置が調整される。このときの走査位置  $P(t)$  がビーム位置モニターにより計測され、ブロック 1 2 a 及びブロック 1 2 c にフィードバックされる。

## 【 0 0 4 0 】

なお、走査位置  $P$ 、走査速度  $V$ 、理論上の走査位置  $P_c$ 、目標走査速度  $V_{ref}$  は、走査磁石 3 及びビーム位置モニターがそれぞれ X、Y 方向の制御及び計測を個別に行うよう構成されているため、それぞれ X 方向成分と Y 方向成分からなる 2 次元ベクトルとして構成されている。

## 【 0 0 4 1 】

制御装置 8 は、物理的には、CPU (Central Processing Unit)、主記憶装置である RAM (Random Access Memory) 及び ROM (Read Only Memory)、ハードディスク装置等の補助記憶装置、入力デバイスである入力キー等の入力装置、ディスプレイ等の出力装置、通信モジュールなどを有するコンピュータとして構成されている。図 3、4 に示した制御装置 8 の各機能は、CPU、RAM、ROM 等のハードウェア上に所定のコンピュータソフトウェアを読み込ませることにより、CPU の制御のもとで入力装置、出力装置、通信モジュールを動作させるとともに、RAM や ROM、補助記憶装置におけるデータの読み出し及び書き込みを行うことで実現される。

## 【 0 0 4 2 】

次に、図 5 を参照して、本実施形態の照射部 1 において実行される処理を説明すると共に、本実施形態に係る荷電粒子線照射方法について説明する。

## 【 0 0 4 3 】

まず、走査ライン設定部 9 により、走査磁石 3 により腫瘍 5 2 上にて走査される荷電粒子線 R の走査ライン L が設定される ( S 1 0 1 )。走査ライン設定部 9 は、設定した走査ライン L 上に、位置フィードバック制御の目標値として用いられる複数の目標走査位置を設定し、この目標走査位置の情報を照射量設定部 1 0 に送信する。

## 【 0 0 4 4 】

次に、照射量設定部 1 0 により、ステップ S 1 0 1 にて設定された目標走査位置のそれぞれにおける荷電粒子線 R の照射量が設定される ( S 1 0 2 : 照射量設定ステップ )。荷電粒子線 R の照射量は、照射部 1 のオペレータの入力操作によって取得してもよいし、腫瘍の症状や照射野 F の深度などの諸条件に応じて、所与のデータベースなどを参照して設定してもよい。照射量設定部 1 0 は、各目標走査位置における荷電粒子線 R の照射量を設定すると、この情報を走査速度設定部 1 1 に送信する。

## 【 0 0 4 5 】

次に、走査速度設定部 1 1 により、ステップ S 1 0 2 にて設定された照射量に基づき、目標走査位置のそれぞれにおける荷電粒子線 R の目標走査速度が設定される ( S 1 0 3 :

10

20

30

40

50

走査速度設定ステップ)。走査速度設定部 11 は、例えば照射量と走査速度とを対応付けたテーブルを保持しておき、所与の照射量に応じた走査速度を選択して、目標走査速度として設定する。走査速度設定部 11 は、設定した目標走査速度を、目標走査位置と対応付けて目標走査軌道とし、走査制御部 12 に送信する。

【0046】

そして、走査制御部 12 により、目標走査軌道(目標走査位置及び目標走査速度)にしたがって、荷電粒子線 R が腫瘍 52 上にて走査されるよう走査磁石 3 の制御が実行される(S104)。走査制御部 12 は、図 4 を参照して説明したように、目標走査軌道を制御入力とし、ビーム位置モニタ 7 により計測された実際の荷電粒子線 R の走査軌道(走査位置、走査速度)をフィードバック成分として、走査磁石 3 の磁力を調整する電源の電流強度を調整することにより、荷電粒子線 R の走査軌道の位置・速度フィードバック制御を行う。

10

【0047】

次に、図 6 を参照して、上述した照射部 1 において実行される一連の処理をコンピュータに実行させるための荷電粒子線照射プログラムについて説明する。図 6 に示すように、荷電粒子線照射プログラム 202 は、コンピュータが備える記憶媒体 200 に形成されたプログラム格納領域 201 内に格納されている。

【0048】

荷電粒子線照射プログラム 202 は、荷電粒子線照射処理を総括的に制御するメインモジュール 202a と、走査ライン設定モジュール 202b と、照射量設定モジュール(照射量設定機能) 202c と、走査速度設定モジュール(走査速度設定機能) 202d と、走査制御モジュール 202e とを備えて構成される。

20

【0049】

走査ライン設定モジュール 202b、照射量設定モジュール 202c、走査速度設定モジュール 202d、及び走査制御モジュール 202e を実行させることにより実現される機能は、上述した図 3 の制御装置 8 の走査ライン設定部 9、照射量設定部 10、走査速度設定部 11、及び走査制御部 12 の機能とそれぞれ同様である。

【0050】

なお、荷電粒子線照射プログラム 202 は、その一部又は全部が、通信回線等の伝送媒体を介して伝送され、他の機器により受信されて記録(インストールを含む)される構成としてもよい。また、荷電粒子線照射プログラム 202 は、その一部又は全部が、CD-ROM、DVD-ROM、フラッシュメモリなどの持ち運び可能な記憶媒体に格納された状態から、他の機器に記録(インストールを含む)される構成としてもよい。

30

【0051】

このような荷電粒子線照射装置、荷電粒子線照射方法及び荷電粒子線照射プログラムによれば、腫瘍 52 上の荷電粒子線 R の目標走査位置のそれぞれにおける荷電粒子線 R の照射量が設定されると、この照射量に基づき、各目標走査位置における荷電粒子線 R の目標走査速度が設定される。荷電粒子線 R の走査速度は、従来、荷電粒子線 R の照射量の制御量として用いられていたビーム強度と比べて、安定させることが容易であるため、所望の値に正確に変調させることが可能である。したがって、目標走査速度を荷電粒子線 R の照射量を調整するための制御量として用いることによって、制御量を所望の値に正確に変調させることが可能となり、この結果、荷電粒子線 R の照射量を精度良く制御できる。

40

【0052】

また、走査制御部 12 が、目標走査位置及び目標走査速度にしたがって、荷電粒子線 R が腫瘍 52 上にて走査されるよう走査磁石 3 を制御するため、安定した調整が可能な目標走査速度を、荷電粒子線 R の照射量を調整するための制御量として用いることによって、制御量を所望の値に正確に変調させることが可能となり、この結果、荷電粒子線 R の照射量を精度良く制御できる。

【0053】

また、走査制御部 12 は、目標走査位置とビーム位置モニタ 7 により計測された走査位

50

置との誤差が無くなるように、また、目標走査速度とビーム位置モニタ7により計測された走査速度との誤差が無くなるように、走査磁石3への制御入力(電流強度)を調整する位置速度フィードバック制御を行い、走査磁石3を制御する。このため、荷電粒子線Rの走査位置及び走査速度に基づき位置速度フィードバック制御を行って走査磁石3を制御するので、目標走査位置及び目標走査速度への追従性が向上し、荷電粒子線Rの照射量をより一層高精度に制御することができる。

【0054】

以上、本発明に係る荷電粒子線照射装置、荷電粒子線照射方法及び荷電粒子線照射プログラムについて好適な実施形態を挙げて説明したが、本発明は上記実施形態に限られるものではない。走査制御部12による位置速度フィードバック制御は、図4に示したブロック線図の構成とは別の構成としてもよく、例えば、目標走査位置に基づく位置フィードバック制御と、目標走査速度に基づく速度フィードバック制御を個別に行い、両方の制御出力を合計した値を電流強度として走査磁石3の電源を調整してもよい。

10

【0055】

また、走査制御部12は、線量モニタ4で検知される荷電粒子線Rのビーム強度を監視しておき、ビーム強度が所定の誤差範囲外に変動した場合には、当該変動を相殺して所定の照射量が実現されるように、走査磁石3による走査速度を調整する制御を更に行うこととしてもよい。すなわち、走査制御部12は、一定であるはずの上記ビーム強度が変動して所定の上限以上になった場合には、走査速度を大きくする方向に調整し、ビーム強度が所定の下限以下になった場合には、走査速度を小さくする方向に調整する。なお、上記の上限及び下限は、許容されるべきビーム強度の誤差範囲の上限・下限として設定される。このような制御により、荷電粒子線Rのビーム強度の変動も考慮に含め、正確な照射量での荷電粒子線Rの照射を継続することができる。そして、ビーム強度の変動に起因する治療中断を避けることができる。

20

【符号の説明】

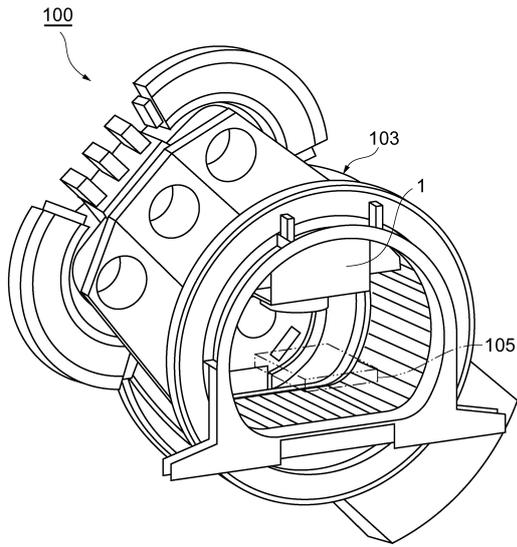
【0056】

1...照射部、3...走査磁石(走査手段)、4...線量モニタ(ビーム強度検知手段)、7...ビーム位置モニタ(計測手段)、8...制御装置、9...走査ライン設定部、10...照射量設定部(照射量設定手段)、11...走査速度設定部、12...走査制御部(制御手段)、52...腫瘍(被照射物)、202...荷電粒子線照射プログラム、202b...走査ライン設定モジュール、202c...照射量設定モジュール(照射量設定機能)、202d...走査速度設定モジュール(走査速度設定機能)、202e...走査制御モジュール、L...走査ライン

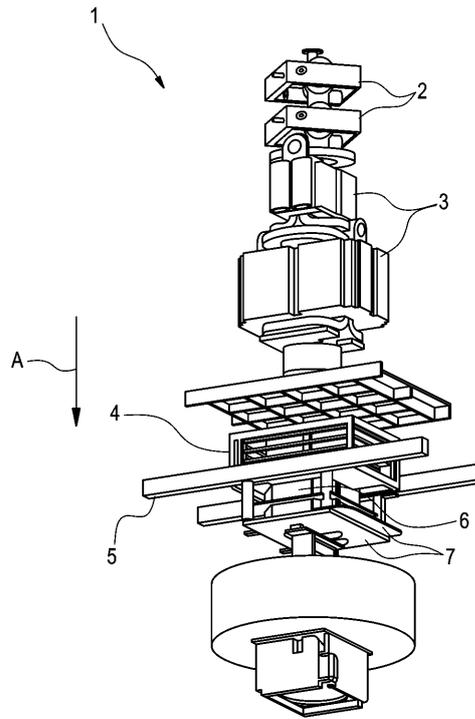
30

。

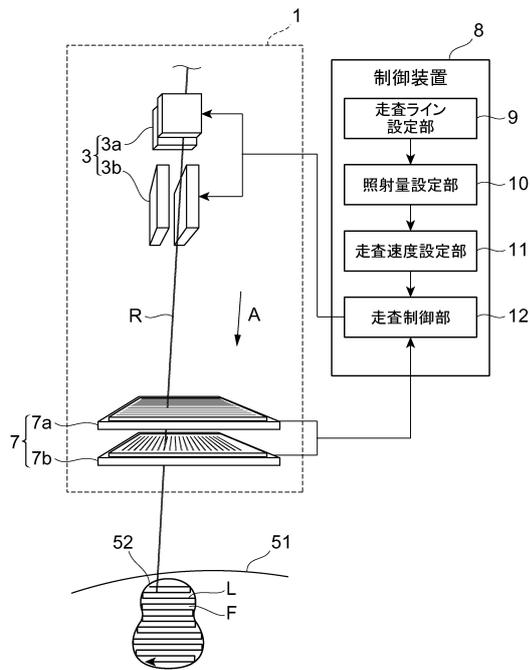
【図1】



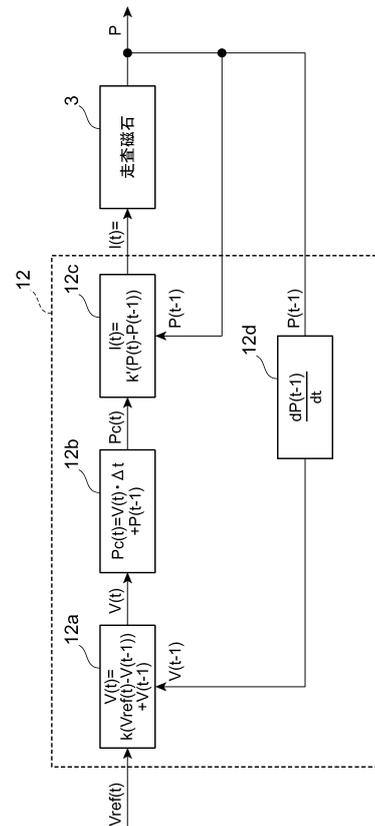
【図2】



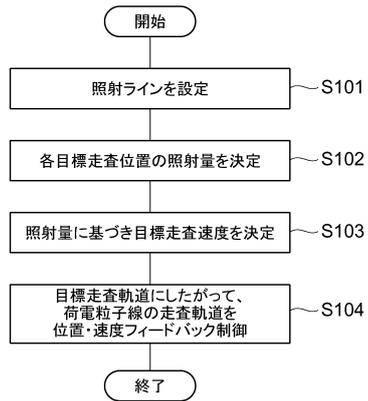
【図3】



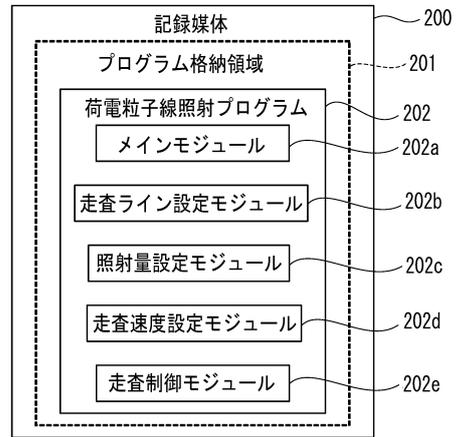
【図4】



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特表2002-534138(JP,A)  
特開2009-243891(JP,A)  
特開平09-099108(JP,A)  
特表2007-512897(JP,A)  
特開2002-058750(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61N	5/10
G21K	1/00
G21K	5/04