

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3577201号  
(P3577201)

(45) 発行日 平成16年10月13日(2004.10.13)

(24) 登録日 平成16年7月16日(2004.7.16)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

A61N 5/10

F I

A61N 5/10

H

請求項の数 8 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願平9-287003	(73) 特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(22) 出願日	平成9年10月20日(1997.10.20)	(74) 代理人	100057874 弁理士 曾我 道照
(65) 公開番号	特開平11-114078	(74) 代理人	100068113 弁理士 小林 慶男
(43) 公開日	平成11年4月27日(1999.4.27)	(74) 代理人	100071629 弁理士 池谷 豊
審査請求日	平成13年9月6日(2001.9.6)	(74) 代理人	100084010 弁理士 古川 秀利
		(74) 代理人	100094695 弁理士 鈴木 憲七
		(74) 代理人	100081916 弁理士 長谷 正久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子線照射装置、荷電粒子線回転照射装置、および荷電粒子線照射方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

荷電粒子線を互いに逆方向に同角度曲げる1組の場からなるスキャニング場を発生させることにより、上記スキャニング場への上記荷電粒子線の入射軸からの距離として、被照射体での上記荷電粒子線の照射位置を可変にするスキャニング場発生部と、  
 上記スキャニング場への上記入射軸を回転中心軸として上記スキャニング場発生部を回転させる回転部と、  
 上記スキャニング場発生部と上記被照射体との間に設けられ、荷電粒子線のエネルギーを調整することにより上記被照射体の表面からの荷電粒子線の照射深度を変える荷電粒子線エネルギー調整手段と、  
 上記回転中心軸の周りの離散的に設定された回転角情報、上記回転の径方向位置情報、及び上記被照射体の照射深度情報からなる、予め設定された照射位置情報を有し、この照射位置情報に含まれる回転角のうち所定の回転角に対応して回転部を回転させた後、上記照射位置情報に含まれるこの回転角に対応した上記径方向位置、及び上記照射深度に基づき、上記スキャニング場発生部のスキャニング場の強度、及び荷電粒子線エネルギー調整手段による荷電粒子線エネルギーを制御し、上記荷電粒子線を照射することにより、上記回転角に対応した上記照射位置情報に含まれる上記径方向位置及び照射深度での荷電粒子線の照射を実施した後、上記照射位置情報に含まれる他の回転角に対して上記一連の荷電粒子線照射を実施するよう照射制御を行う制御手段と、  
 を備えた荷電粒子線照射装置。

## 【請求項 2】

荷電粒子線を互いに逆方向に同角度曲げる 1 組の場からなるスキャンニング場を発生させることにより、上記スキャンニング場への上記荷電粒子線の入射軸からの距離として、被照射体での上記荷電粒子線の照射位置を可変にするスキャンニング場発生部と、

上記スキャンニング場への上記入射軸を回転中心軸として上記スキャンニング場発生部を回転させる回転部と、

上記スキャンニング場発生部と上記被照射体との間に設けられ、荷電粒子線のエネルギーを調整することにより上記被照射体の表面からの荷電粒子線の照射深度を変える荷電粒子線エネルギー調整手段と、

上記回転中心軸の周りの離散的に設定された回転角情報、上記被照射体の照射深度情報、及び上記回転角、照射深度に対応して、回転中心軸からの距離に略逆比例して荷電粒子線の掃引速度を変化させるための、上記スキャンニング場の強度を規定する時間依存関数であるスキャンニングパターン情報からなる、予め設定された照射位置情報を有し、この照射位置情報に含まれる回転角については上記回転部の回転により、照射深度については荷電粒子線エネルギー調整手段による荷電粒子線エネルギーの制御により、照射位置の制御をすると共に、上記回転角及び照射深度に対応したスキャンニングパターンに基づき回転の径方向に荷電粒子線照射を実施するよう照射制御を行う制御手段と、  
を備えた荷電粒子線照射装置。

## 【請求項 3】

制御手段は、照射位置情報に含まれる回転角のうち所定の回転角で、その回転角において設定されている照射深度、およびスキャンニングパターンでの照射を行った後に、前記照射位置情報に含まれる他の回転角に対して上記一連の荷電粒子線照射を実施するようにしたことを特徴とする請求項 2 に記載の荷電粒子線照射装置。

## 【請求項 4】

スキャンニング場発生部は、荷電粒子線入射軸に対して、その片側にスキャンニング場発生部を配置したことを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の荷電粒子線照射装置。

## 【請求項 5】

被照射体の照射面に垂直になるように荷電粒子線を偏向する荷電粒子線の偏向手段と、荷電粒子線走行方向に対して、上記偏向手段の下流側に設置された請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の荷電粒子線照射装置と、

上記偏向手段と上記荷電粒子線照射装置とを一体化して回転させる回転移動手段と、  
を備えた荷電粒子線回転照射装置。

## 【請求項 6】

荷電粒子線を互いに逆方向に同角度曲げる 1 組の場からなるスキャンニング場を発生するスキャンニング場発生手段で、上記入射荷電粒子線を、上記荷電粒子線の上記スキャンニング場への上記入射軸に垂直な面上の一直線上でスキャンさせると共に、上記スキャンニング場発生手段を、上記入射軸を中心に回転させて被照射体の照射領域に荷電粒子線を照射する荷電粒子線の照射方法であり、

上記回転中心軸の周りの離散的に設定された回転角情報、上記回転の径方向位置情報、及び上記被照射体の照射深度情報からなる、予め設定された照射位置情報を有し、この照射位置情報に基づき、上記スキャンニング場発生手段の回転角を設定する第 1 ステップと、

上記照射位置情報に含まれる、第 1 ステップで設定した回転角に対応した上記径方向位置及び上記照射深度を設定し、この設定された径方向位置及び照射深度に対応してスキャンニング場発生手段の場の強度及び上記荷電粒子線のエネルギーを設定する第 2 ステップと、上記第 1 ステップ及び第 2 ステップでの設定に従って荷電粒子線を制御して被照射体に照射させる第 3 ステップと、

上記照射位置情報に含まれる、第 1 ステップで設定した回転角に対応した他の径方向位置及び照射深度に対して、未照射の径方向位置及び照射深度がなくなるまで上記第 2 ステッ

プから第3ステップまでを繰り返す第4ステップと、  
上記照射位置情報に含まれる他の回転角に対して、上記照射位置情報に含まれる未照射の  
回転角がなくなるまで第1ステップから第4ステップまでを繰り返す第5ステップと、  
を備えた荷電粒子線照射方法。

【請求項7】

荷電粒子線を互いに逆方向に同角度曲げる1組の場合からなるスキニング場を発生するス  
キニング場発生手段で、上記入射荷電粒子線を、上記荷電粒子線の上記スキニング場  
への入射軸に垂直な面上の一直線上でスキャンさせると共に、上記スキニング場発生手  
段を、上記入射軸を中心に回転させて被照射体の照射領域に荷電粒子線を照射する荷電粒  
子線の照射方法であり、

10

上記回転中心軸の周りの離散的に設定された回転角情報、上記被照射体の照射深度情報、  
及び上記回転角、照射深度に対応して、回転中心軸からの距離に略逆比例して荷電粒子線  
の掃引速度を変化させるための、上記スキニング場の強度を規定する時間依存関数であ  
るスキニングパターン情報からなる、予め設定された照射位置情報を有し、  
この照射位置情報に含まれる照射深度に基づき荷電粒子線エネルギー、該照射深度に対応  
した回転角に基づくスキニング場発生手段の回転角、および該回転角及び照射深度に対  
応した上記スキニングパターンをそれぞれ設定する第1ステップと、

設定された上記照射深度、回転角およびスキニングパターンに基づき荷電粒子線をス  
キニングして被照射体に照射する第2ステップと、

上記照射位置情報に含まれる未照射の回転角がなくなるまで、第1ステップと第2ステ  
ップを繰り返す第3ステップと、

20

を備えた荷電粒子線照射方法。

【請求項8】

照射位置情報に含まれる回転角のうち所定の回転角で、その回転角において設定されてい  
る照射深度、およびスキニングパターンでの照射を行った後に、前記照射位置情報に含  
まれる他の回転角に対して上記一連の荷電粒子線照射を実施するようにしたことを特徴と  
する請求項7に記載の荷電粒子線照射方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

30

この発明は、荷電粒子線治療装置等で使用される荷電粒子線照射装置、荷電粒子線回転照  
射装置、および荷電粒子線照射方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

図16は例えばメディカルフィジックス(Med. Phys.)、第22巻、第37~5  
3頁に掲載されたスイスのペドロニ(Pedroni)等によるレポートに開示された従  
来の荷電粒子線治療装置である荷電粒子線回転照射装置の例である。

【0003】

図において、100は荷電粒子線回転照射装置で、1は粒子加速器、3は輸送系電磁石、  
5はエネルギーディグレーダ、7は陽子線ビーム、9はビームストップ、10は回転ガン  
トリー、11、13および19は偏向電磁石、15は集束電磁石、17はスキニング電  
磁石、21はエネルギーディグレーダ、23は線量・位置モニタ、25は患者、27は照  
射ベッド、29はガントリー回転軸である。

40

【0004】

加速器1から発生された陽子線ビームは輸送系電磁石3によって運ばれ、初段のエネルギ  
ー変化手段としてのエネルギーディグレーダ5を通過して所定のエネルギーを有する陽子  
線ビーム7となる。この陽子線ビーム7は、最初の偏向電磁石11で水平の方向から上方  
に曲げられた後、再び偏向電磁石13で水平方向に戻される。

【0005】

さらに陽子線ビーム7は集束電磁石15によって集束された後、スキニング電磁石17

50

で上下方向に掃引される。掃引された陽子線ビームは最後の偏向電磁石 19 により、真下方向に向くように曲げられ、微調整用のエネルギーディグレーダ 21 と線量・位置モニタ 23 を経て患者 25 に照射される。

【0006】

ここで電磁石 11、13、15、17、19、エネルギーディグレーダ 21 およびモニタ 23 は一体化され、照射ガントリーを構成する。照射ガントリーはガントリー回転軸 29 を中心に回転できるようになっており、回転ガントリー 10 と呼ばれる。

【0007】

患者 25 に照射される陽子線ビームは、スキャニング電磁石 17 と偏向電磁石 19 によって図 16 に示される X 軸方向のみにおいて平行にスキャニングされる。治療に必要な Y 軸方向のスキャニングについては、照射ベッド 27 を移動させることにより行われ、患者 27 の深さ方向 (Z 軸方向) のスキャニングはエネルギーディグレーダ 21 による陽子線ビームエネルギーの調整で行われる。

【0008】

なお、例えば回転ガントリー 10 の長手方向の長さは約 10 m、ガントリー内で陽子線ビームが立ち上げられる長さが約 2 m である。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

以上のように構成された従来の荷電粒子線治療装置では、1 軸方向 (上記例では X 軸方向) の平行ビームスキャニングしか実現できず、治療中にベッド 27 により患者 25 を Y 軸方向に移動する必要があった。このような移動は、患者に不快感や恐怖感を与える恐れがあると同時に照射領域の位置ズレを生じさせることが問題になっていた。

【0010】

また、上記のような従来の装置では、平行にビームをスキャニングさせる為に、スキャニング電磁石 17 を偏向電磁石 19 の上流に設置する必要があり、スキャニング電磁石 17 によって上下にスキャニングされた陽子線ビームすなわち荷電粒子線を偏向する偏向電磁石 19 が大型のものになっていた。その結果、上述した治療用の回転ガントリー 10 の総重量が 100 トン以上にもなっていた。また、偏向電磁石 19 が数十センチの磁極幅を有する大型なものである為、超電導化した場合は、製造コストが非常に高くなってしまいう問題もあった。

【0011】

この発明は、上記のような問題を解決するためになされたもので、ベッドを移動せずに照射領域において、2 軸方向の平行ビームスキャニングを実現させると共に、回転ガントリーの小型軽量化を図った荷電粒子線照射装置、荷電粒子線回転照射装置、および荷電粒子線照射方法を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】

上記の目的に鑑み、この発明は、荷電粒子線を互いに逆方向に同角度曲げる 1 組の場からなるスキャニング場を発生させることにより、上記スキャニング場への上記荷電粒子線の入射軸からの距離として、被照射体での上記荷電粒子線の照射位置を可変にするスキャニング場発生部と、上記スキャニング場への上記入射軸を回転中心軸として上記スキャニング場発生部を回転させる回転部と、上記スキャニング場発生部と上記被照射体との間に設けられ、荷電粒子線のエネルギーを調整することにより上記被照射体の表面からの荷電粒子線の照射深度を変える荷電粒子線エネルギー調整手段と、上記回転中心軸の周りに離散的に設定された回転角情報、上記回転の径方向位置情報、及び上記被照射体の照射深度情報からなる、予め設定された照射位置情報を有し、この照射位置情報に含まれる回転角のうち所定の回転角に対応して回転部を回転させた後、上記照射位置情報に含まれるこの回転角に対応した上記径方向位置、及び上記照射深度に基づき、上記スキャニング場発生部のスキャニング場の強度、及び荷電粒子線エネルギー調整手段による荷電粒子線エネルギーを制御し、上記荷電粒子線を照射することにより、上記回転角に対応した上記照射位置

10

20

30

40

50

情報に含まれる上記径方向位置及び照射深度での荷電粒子線の照射を実施した後、上記照射位置情報に含まれる他の回転角に対して上記一連の荷電粒子線照射を実施するよう照射制御を行う制御手段と、を備えた荷電粒子線照射装置にある。

【0013】

またこの発明は、荷電粒子線を互いに逆方向に同角度曲げる1組の場からなるスキヤニング場を発生させることにより、上記スキヤニング場への上記荷電粒子線の入射軸からの距離として、被照射体での上記荷電粒子線の照射位置を可変にするスキヤニング場発生部と、上記スキヤニング場への上記入射軸を回転中心軸として上記スキヤニング場発生部を回転させる回転部と、上記スキヤニング場発生部と上記被照射体との間に設けられ、荷電粒子線のエネルギーを調整することにより上記被照射体の表面からの荷電粒子線の照射深度を  
10  
変える荷電粒子線エネルギー調整手段と、上記回転中心軸の周りの離散的に設定された回転角情報、上記被照射体の照射深度情報、及び上記回転角、照射深度に対応して、回転中心軸からの距離に略逆比例して荷電粒子線の掃引速度を変化させるための、上記スキヤニング場の強度を規定する時間依存関数であるスキヤニングパターン情報からなる、予め設定された照射位置情報を有し、この照射位置情報に含まれる回転角については上記回転部の回転により、照射深度については荷電粒子線エネルギー調整手段による荷電粒子線エネルギーの制御により、照射位置の制御をすると共に、上記回転角及び照射深度に対応したスキヤニングパターンに基づき回転の径方向に荷電粒子線照射を実施するよう照射制御を行う制御手段と、を備えた荷電粒子線照射装置にある。

また上記装置において、制御手段は、照射位置情報に含まれる回転角のうち所定の回転角  
20  
で、その回転角において設定されている照射深度、およびスキヤニングパターンでの照射を行った後に、前記照射位置情報に含まれる他の回転角に対して上記一連の荷電粒子線照射を実施するようにしたことを特徴とする。

【0014】

またこの発明は、スキヤニング場発生部は、荷電粒子線入射軸に対して、その片側にスキヤニング場発生部を配置したことを特徴とする。

【0015】

またこの発明は、被照射体の照射面に垂直になるように荷電粒子線を偏向する荷電粒子線の偏向手段と、荷電粒子線走行方向に対して、上記偏向手段の下流側に設置された上記い  
30  
ずれかの荷電粒子線照射装置と、上記偏向手段と上記荷電粒子線照射装置とを一体化して回転させる回転移動手段と、を備えた荷電粒子線回転照射装置にある。

【0016】

またこの発明は、荷電粒子線を互いに逆方向に同角度曲げる1組の場からなるスキヤニング場を発生するスキヤニング場発生手段で、上記入射荷電粒子線を、上記荷電粒子線の上  
40  
記スキヤニング場への上記入射軸に垂直な面上の一直線上でスキャンさせると共に、上記スキヤニング場発生手段を、上記入射軸を中心に回転させて被照射体の照射領域に荷電粒子線を照射する荷電粒子線の照射方法であり、上記回転中心軸の周りの離散的に設定された回転角情報、上記回転の径方向位置情報、及び上記被照射体の照射深度情報からなる、予め設定された照射位置情報を有し、この照射位置情報に基づき、上記スキヤニング場発生手段の回転角を設定する第1ステップと、上記照射位置情報に含まれる、第1ステップで設定した回転角に対応した上記径方向位置及び上記照射深度を設定し、この設定された径方向位置及び照射深度に対応してスキヤニング場発生手段の場の強度及び上記荷電粒子線のエネルギーを設定する第2ステップと、上記第1ステップ及び第2ステップでの設定に従って荷電粒子線を制御して被照射体に照射させる第3ステップと、上記照射位置情報に含まれる、第1ステップで設定した回転角に対応した他の径方向位置及び照射深度に対して、未照射の径方向位置及び照射深度がなくなるまで上記第2ステップから第3ステップまでを繰り返す第4ステップと、上記照射位置情報に含まれる他の回転角に対して、上記照射位置情報に含まれる未照射の回転角がなくなるまで第1ステップから第4ステップまでを繰り返す第5ステップと、を備えた荷電粒子線照射方法にある。

【0017】

10

20

30

40

50

またこの発明は、荷電粒子線を互いに逆方向に同角度曲げる1組の場からなるスキャニング場を発生するスキャニング場発生手段で、上記入射荷電粒子線を、上記荷電粒子線の上記スキャニング場への入射軸に垂直な面上の一直線上でスキャンさせると共に、上記スキャニング場発生手段を、上記入射軸を中心に回転させて被照射体の照射領域に荷電粒子線を照射する荷電粒子線の照射方法であり、上記回転中心軸の周りの離散的に設定された回転角情報、上記被照射体の照射深度情報、及び上記回転角、照射深度に対応して、回転中心軸からの距離に略逆比例して荷電粒子線の掃引速度を変化させるための、上記スキャニング場の強度を規定する時間依存関数であるスキャニングパターン情報からなる、予め設定された照射位置情報を有し、この照射位置情報に含まれる照射深度に基づき荷電粒子線エネルギー、該照射深度に対応した回転角に基づくスキャニング場発生手段の回転角、および該回転角及び照射深度に対応した上記スキャニングパターンをそれぞれ設定する第1ステップと、設定された上記照射深度、回転角およびスキャニングパターンに基づき荷電粒子線をスキャニングして被照射体に照射する第2ステップと、上記照射位置情報に含まれる未照射の回転角がなくなるまで、第1ステップと第2ステップを繰り返す第3ステップと、を備えた荷電粒子線照射方法にある。

10

また上記方法において、照射位置情報に含まれる回転角のうち所定の回転角で、その回転角において設定されている照射深度、およびスキャニングパターンでの照射を行った後に、前記照射位置情報に含まれる他の回転角に対して上記一連の荷電粒子線照射を実施するようにしたことを特徴とする。

【0026】

20

【発明の実施の形態】

実施の形態1.

図1はこの発明の一実施の形態による荷電粒子線照射装置の構成を示す図である。20は荷電粒子線照射装置で、30はビームの入射軸、31は荷電粒子線ビーム(例えば、陽子線ビーム、炭素線ビーム等)、33、35は方向が互いに逆で、強度と有効磁界の長さ(入射軸30に沿った長さ)が同じである均一な磁場を発生し、荷電粒子線ビームの入射軸30に沿って、一定の間隔をおいて設置された2台のスキャニング電磁石である。41はスキャニング電磁石33、35の磁極幅、43は磁極ギャップを示す。45と47は電磁石33、35間を連結する連結フレームである。

【0027】

30

53は荷電粒子線照射装置20を回転軸37を中心に回転させるための回転駆動用歯車、49a、49bはこの歯車53を回転させるモータである。57は被照射体、56は照射領域、55は掃引された荷電粒子線ビームの軌跡の一例を示したものである。なお、図2は図1のA-A線に沿った断面図で、34はスキャニング電磁石33、35の磁場方向を示す。また図3は図1の矢印Bの方向から見たスキャニング電磁石33、35の透視側面図で、荷電粒子線ビームのスキャニング状態を示す。

【0028】

以下動作について説明する。入射された荷電粒子線ビーム31はまずスキャニング電磁石33によって一定角度だけ曲げられた後、再び磁場方向が逆で、強度と有効磁界の長さと同じあるスキャニング電磁石35によって同じ角度だけ反対方向に曲げられ、元の荷電粒子線ビーム31と平行なビームとして照射される。その結果、掃引軌跡55で示されているスキャニング軌跡に沿ってスキャニングされた荷電粒子線ビームは常に入射時のビーム31と平行である。

40

【0029】

さらに電磁石33と35が連結フレーム45、47によって一体化され、モータ49a、49b等の回転手段によって、回転軸37の回りを回転させられることによって、被照射体57において56で示されるような2次元照射領域が実現される。

【0030】

また、ビーム31の強度と断面形状が一定の場合には、照射領域56において回転軸37が通る中心部はその外側と比べて、単位面積当たりにより多くの粒子を受け入れることに

50

なる。掃引軌跡 55 に沿って掃引速度をビーム 31 が入射軸 30 からスキャンされる距離に反比例するように、スキャン電磁石 33、35 の電流を制御し、また回転によるスキャンの回転ステップを十分細かくすれば、照射領域 56 において図 4 で示した均一な照射粒子数密度分布が実現できる。

#### 【0031】

また、スキャン電磁石 33、35 が発生する磁場が均一であるため、流す電流の大きさと、ビーム 31 が入射軸 30 からスキャンされる距離との関係は図 5 で示しているように正比例関係になる。従って、図 6 および図 7 に示すようにスキャン電磁石 33、35 の電流  $I(t)$  を制御すれば、掃引速度がビーム 31 が入射軸 30 からスキャンされる距離に反比例するようにできる。

10

#### 【0032】

なお、上記実施の形態ではスキャン電磁石 33、35 の磁場強度および有効磁界の長さは同一としたが、ビーム 31 を互いに逆の方向に同じ角度だけ曲げるものであれば、磁場強度および有効磁界の長さがそれぞれ同一なものでなくてもよい。

#### 【0033】

また、上記実施の形態では荷電粒子線ビーム 31 を入射軸 30 に対して、平行にスキャンさせるために、2 台の電磁石 33、35 を用いたが、荷電粒子線ビーム 31 を常に互いに逆の方向に同じ角度だけ曲げられる 2 つ 1 組のスキャン磁場を発生できれば、単数または複数の電磁石、あるいはスキャン磁場を発生できるように工夫された永久磁石（例えば永久磁石の空間配置を機械的に変動させられるようにした永久磁石）などから

20

#### 【0034】

例えば、図 8 はスキャン磁場発生手段として、2 台の C 形スキャン電磁石 33、35 を用いた例である。また図 3 から分かるように電磁石 33 の磁極幅 41 は電磁石 35 の磁極幅 41 より小さくてもよく、照射装置 20 全体の重量を軽減できる。極端な場合は、電磁石 33 の磁極断面を扇形にしてもよい。さらにスキャン電磁石 33、35 の磁極ギャップ 43 は、この磁極ギャップ 43 の方向のスキャンは行う必要がないので、入射させる荷電粒子線ビーム 31 の断面サイズ程度まで小さくすることができる。

#### 【0035】

この実施の形態では、2 軸方向平行ビームスキャンを行う、簡単な構造でコンパクト

30

#### 【0036】

実施の形態 2 .

図 9 はこの発明の別の実施の形態による荷電粒子線治療装置等として使用される荷電粒子線回転照射装置の構成を示す図である。従来および上述の実施の形態のものと同じもしくは相当部分は同一符号で示し説明は省略する。図 9 の荷電粒子線回転照射装置 101 では、偏向電磁石 19 とエネルギーディグレーダ 21 の間に上述の実施の形態の荷電粒子線照射装置 20 が設けられている。従って偏向電磁石 19 にはスキャン前のビーム 31 が入射されるため、従来のものに比べて非常に小形のものとなっている。これにより被照射体である患者 25 の位置を回転ガントリー 10 のガントリー回転軸 29 上とすることができる。

40

#### 【0037】

次に動作について説明する。荷電粒子線回転照射装置 101 において、加速器 1 から出た高エネルギーの荷電粒子線ビームは輸送系電磁石 3 によって初段のエネルギーディグレーダ 5 へ運ばれる。このエネルギーディグレーダ 5 を通過した所定のエネルギーを有する荷電粒子線ビーム 31 は、最初の偏向電磁石 11 で水平の方向から上方に曲げられた後、再び偏向電磁石 13 で水平方向に戻される。

#### 【0038】

さらに荷電粒子線ビームは集束用の電磁石 15 によって集束された後、偏向電磁石 19 に入射される。上述のようにこの実施の形態の装置 101 では、偏向電磁石 19 の前ではビ

50

ームをスキャンニングせず、ビーム 31 は細いペンシルビームのまま電磁石 19 によって真下に向くように曲げられる。従って、図 10 に示されている偏向電磁石 19 の磁極幅 22 および磁極ギャップ 18 の両方を小さくすることができ、回転ガントリー 10 の総容量および総重量を小さくすることができる。

【0039】

従来の装置では、偏向電磁石 19 の磁極幅 22 は図 16 で示されているスキャンニング電磁石 17 によってスキャンニングされた荷電粒子線ビームをカバーする必要があり、数十センチになっていた。

【0040】

またこの実施の形態では偏向電磁石 19 が小形であるため、他の偏向電磁石 11、13 と共に容易に超電導化することができ、回転ガントリー 10 のさらなる小型軽量化が可能となる。また、偏向電磁石 19 から出た荷電粒子線ビーム 31 がスキャンニング電磁石 33、35 によって実施の形態 1 で説明したように、入射方向と常に平行するようにスキャンニングされる。

10

【0041】

この実施の形態では、図 9 で示しているように、2 軸方向において平行にビームスキャンニングが実現できるため、患者 25 を載せた照射ベッド 27 の移動は不必要となり、治療装置において照射位置精度の向上が図られる効果がある。

【0042】

また、荷電粒子線が深部腫瘍治療に必要なエネルギー 250 MeV 程度の陽子線ビーム（磁場に対するレジディティは 2.43 テスラ・メートル）で、直径 20 cm の照射領域をスキャンニングする場合は、偏向電磁石 19 を超電導化した場合、そのサイズを 40 cm 程度に、スキャンニング電磁石 33、35 を含む荷電粒子線照射装置 20 の端から端までの長さを 120 cm 程度にすることができるため、回転ガントリー 10 の回転半径を 2 m 程度に抑えることができる。

20

【0043】

その結果、従来の装置と異なり、2 次元平行ビームスキャンニングを実現しながら、患者 25 を回転ガントリー 10 のガントリー回転軸 29 上に置くことができ、回転ガントリー 10 の構造を大幅に簡素化できる。さらに、上述の 250 MeV の陽子線を発生する回転ガントリーを備えた治療装置の重量を従来の半分以下にすることが可能である。

30

【0044】

なお、図 9 ではエネルギーディグレーダ 21 および線量・位置モニタ 23 が回転ガントリー 10 に搭載されているものを示したが、これらのエネルギーディグレーダ 21 および線量・位置モニタ 23 は回転ガントリー 10 と別体に設けられてもよい。

【0045】

実施の形態 3 .

図 11 はこの発明の別の実施の形態による荷電粒子線照射装置の構成を示す図である。図 1 の荷電粒子線照射装置ではスキャンニング場として電磁石等により磁場を発生していたが、この実施の形態の荷電粒子線照射装置 20 では、間にギャップを設けて向き合わされた 2 枚の電極の間にスキャンニング場としてスキャンニング電場を発生させる。

40

【0046】

図 11 において、93 a、93 b、95 a および 95 b は電極、97 は上記電極を支持する絶縁体、102 は上記各電極および絶縁体等を支持するステンレス等から作られた箱、99 a、99 b は電源、103 は上記各電極 93 a、93 b、95 a および 95 b に電圧を供給するためのケーブル、105 はケーブルコネクタ、49 は箱 102 をこれを搭載した回転駆動用歯車 53 を介して回転させるためのモータである。

【0047】

電極 93 a、93 b、95 a および 95 b は方向が互いに逆向きの電場を発生させ、入射された荷電粒子線ビーム 31 をそれぞれ逆の方向に同じ角度だけ曲げることによって、常に入射方向と平行なビームをスキャンニングする。また、箱 102 全体を回転させることに

50



より、照射領域に於いて２次元平行ビームスキヤニングを実現できる。

【 0 0 4 8 】

また、この実施の形態による荷電粒子線照射装置を実施の形態２の荷電粒子線回転照射装置 1 0 1 における荷電粒子線照射装置 2 0 として用いることもできる。

【 0 0 4 9 】

実施の形態 4 .

図 1 2 はこの発明による荷電粒子線回転照射装置の制御部分の構成を示す図である。この制御部分は、例えば図 9 に示された荷電粒子線回転照射装置の制御を行うもので、特にビームのスキヤニング制御に関する部分を抽出して示した。

【 0 0 5 0 】

図 1 2 において、2 0 0 は例えばパーソナルコンピュータ等からなる制御装置で、2 0 1 は入出力制御部（以下 I / O ）、2 0 2 は一時記憶部である R A M、2 0 3 はビーム照射の設定条件等の各種情報を格納したデータベース、2 0 4 は処理部である C P U、2 0 5 は制御のためのプログラム等が格納する R O M、2 0 6 は他の装置との間のインタフェース（以下 I / F ）、2 0 7 はこれらを相互に接続するバスである。そしてこの制御装置 2 0 0 には、ビームストッパ 9、エネルギーディグレーダ 2 1、線量・位置モニタ 2 3、照射ベッド 2 7、および照射装置 2 0 のモータ 4 9、4 9 a、4 9 b、並びに電磁石 3 3、3 5、電極 9 3 a、9 3 b、9 5 a、9 5 b に相当するスキヤニング場発生部が接続されている。

【 0 0 5 1 】

また、図 1 3 にはこの制御装置 2 0 0 で行われる制御のフローチャート図を示す。この制御装置 2 0 0 は、例えばこれの R O M 2 0 5 に格納されたプログラム P に従って動作する。

【 0 0 5 2 】

以下、図 9、1 2、1 3 に従って制御動作について説明する。まず、患者 2 5 に於ける照射領域の 3 次元位置座標群  $[ P_i : i = 1, 2, \dots, n ]$ 、例えば円柱座標系では  $[ ( \theta_i, r_i, Z_i ), i = 1, 2, \dots, n ]$ （ $\theta$  は角度方向、 $r$  は径方向、 $Z$  は深さ方向）が予め作成して置いた設定テーブルから照射系を制御している制御装置 2 0 0 に I / F 2 0 6 を介してロードされる（ステップ S 1）。

【 0 0 5 3 】

次に、患者 2 5 を照射ベッド 2 7 に載せ、患者 2 5 の固定と位置合わせを行う（ステップ S 2）。このステップ S 2 は可動の照射ベッド 2 7 の位置決めで行える場合もあるが、人手が必要になる場合もある。次に、照射位置座標  $Z_i$ （初期値  $i = 1$ ）に合わせて、エネルギーディグレーダ 2 1 の厚さを設定する。そして照射位置座標  $( \theta_i, r_i )$  に合わせて、スキヤニング電磁石 3 3、3 5 の回転角度および磁場強度を設定する（ステップ S 3）。

【 0 0 5 4 】

次に、荷電粒子線ビーム 3 1 を照射し（ステップ S 4）、荷電粒子線 3 1 の入射粒子数および位置を線量・位置モニタ 2 3 で測定する（ステップ S 5）。次に、ステップ S 5 で測定した位置座標とステップ S 3 で設定した位置座標を比較し（ステップ S 6）、一致しない場合は、後記のビーム 3 1 を停止するステップ S 8 に移る。ステップ 6 の比較結果で測定と設定の位置座標が一致した場合、ステップ S 5 で測定した粒子数の積算値が照射を開始する前に決めておいた所定位置での設定粒子数以上か否かを判定する（ステップ S 7）。越えていない場合はステップ S 5 に戻り、越えている場合は、荷電粒子線ビーム 3 1 をビームストッパ 9 を用いて停止させる（ステップ S 8）。

【 0 0 5 5 】

次に、照射を終了するかどうかを判断し（ステップ S 9）、続ける場合は  $i$  を 1 つ増加させて、ステップ S 3 に戻り、照射を終了させる場合にはステップ S 1 0 で終了させる。

【 0 0 5 6 】

上記の方法で、 $i = 1$  から  $i = n$  まで、ステップ S 3 からステップ S 9 までを繰り返して

10

20

30

40

50

実行し、位置座標群  $[(i, r_i, Z_i), i = 1, 2, \dots, n]$  で記述される 3次元照射領域のすべてのスポットに所定粒子数  $[N_i, i = 1, 2, \dots, n]$  を照射する。

【0057】

ここで、ステップS1とステップS2の実施順番を入れ替えたとしても効果が同じである。また、上記の方法において、スキャニング電磁石33、35の回転速度が磁場強度によるスキャニング速度およびエネルギーディグレーダ21によるスキャニング速度よりも遅いので、回転角度  $i$  を一定に保って、他の2方向によるスキャニングを先に行った方が照射に係る全体の時間を短縮できる。

【0058】

なお、上記説明ではエネルギーの変化手段として、上記エネルギーディグレーダ21の厚さを変化させることにしていたが、他のエネルギーの変化手段、例えばシンクロトロン粒子加速器などを用いてもよい。また、上記荷電粒子線ビームの停止手段として、ビームストッパ9を例に用いて説明したが、他のビーム停止手段（例えば、粒子加速器などを止める）でもよい。

【0059】

さらに、照射領域を記述する3次元位置座標群  $[P_i : i = 1, 2, \dots, n]$  として円柱系座標を例に用いたが、円柱系座標を変形させた他の座標系でも適用可能である。また上記説明では、荷電粒子線のスキャニング手段としてスキャニング電磁石33、35を備えた照射装置20を用いたが、これに限るものではなく、他の荷電粒子線のスキャニング手段、例えば、実施の形態3のスキャニング電極を備えた照射装置20等を用いてもよい。

【0060】

実施の形態5。

図14は図12の制御装置200で行われる別の方法の制御のフローチャート図を示す。実施の形態4と同様に、荷電粒子線ビーム31の初期エネルギーは既にエネルギーディグレーダ5の設定で一定であるとする。

【0061】

以下、図9、12、14に従って制御動作について説明する。まず、患者25に於ける照射領域の位置座標群  $[(Z_i, i_j), i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n]$  およびスキャニングパターンの時間特性  $[I_{ij}(t), j = 1, 2, \dots, n]$  が予め作成して置いた設定テーブルから照射系を制御している制御装置200にI/F206を介してロードされる（ステップS1）。これらの位置座標は、深さを記述する位置座標  $Z_i$ 、その深さにおける回転角度  $i_j$ 、およびその角度における直径または半径方向のスキャニングパターンの時間特性  $I_{ij}(t)$  を用いて、3次元照射領域を表している。

【0062】

次に、患者25を照射ベッド27に載せ、患者25の固定と位置合わせを行う。このステップS2は可動の照射ベッド27の位置決めで行える場合もあるが、人手が必要になる場合もある。次に、照射位置座標  $Z_i$ （初期値  $i = 1$ ）に合わせて、エネルギーディグレーダ21の厚さを設定する（ステップS3）。次に、スキャニング電磁石33、35の回転角度を  $i_j$ （初期値  $j = 1$ ）に、電磁石に流す電流のスキャニングパターンを  $I_{ij}(t)$  に設定する。

【0063】

次に、荷電粒子線ビーム31を照射し（ステップS5）し、ステップS4で設定したスキャニング電磁石33、35の電流スキャニングパターンに従って、所定回数だけ電流をスキャニングさせる。すなわち、例えば円柱座標系の半径あるいは直径の間において、予め設定された電流スキャニングパターンを示す  $I_{ij}(t)$  に従ってスキャニング電磁石33、35に電流を供給する（ステップS6）。また入射する荷電粒子線ビームの強度が時間と共に変動する場合は、電流スキャニングのパターンを後述するステップS10の中で

10

20

30

40

50

線量・位置モニタ 2 3 によって実時間で測定する荷電粒子数の時間増加率に基づいて制御し、所望の照射粒子数分布を形成する。

【 0 0 6 4 】

そして所定回数 of スキャンが完了すると、ビーム 3 1 をビームストッパ 9 を用いて停止させる (ステップ S 7)。次に、照射を終了するかどうかを判断し (ステップ S 8)、終了する場合は後述するステップ S 1 2 に飛ぶ。ステップ S 8 の判断で照射を継続する場合は、次の深さに対応する位置座標  $Z_i$  に移るかどうかを判断し (ステップ S 9)、次の位置座標  $Z_i$  に移る場合は  $i$  を 1 つ増加させ、 $j$  を初期値の 1 にしてステップ S 3 に戻る。次の位置座標  $Z_i$  に移らない場合は  $j$  を 1 つ増加させて、ステップ S 4 に戻る。

【 0 0 6 5 】

このようにして、 $i = 1$  から  $i = m$  まで、 $j = 1$  から  $j = n$  まで上記ステップ S 3 からステップ S 9 までおよびステップ S 3 からステップ S 8 までを繰り返してを執行し、所定の照射領域を照射する。

【 0 0 6 6 】

また、照射中に、照射した荷電粒子数および位置を線量・位置モニタ 2 3 で常に測定し (ステップ S 1 0)、ステップ S 1 0 で測定した位置座標とステップ S 4 で設定した位置座標  $i j$  を比較し、両者が一致する場合はステップ S 1 0 に戻り、不一致の場合には荷電粒子線ビーム 3 1 をビームストッパ 9 を用いて停止させる (ステップ S 8)。

【 0 0 6 7 】

ここでスキャンパターン  $I_{ij}(t)$  について説明する。図 1 5 はこの実施の形態の荷電粒子線照射方法に於ける荷電粒子線 3 1 のスキャンの軌跡の例を示している。3 8 はスキャンされた荷電粒子線ビーム 3 1 の断面を示したものである。図 1 5 では半径の区間のみスキャンを示しているが、直径の区間に渡ってスキャンを行うこともできる。

【 0 0 6 8 】

また、この実施の形態に記載された荷電粒子線照射方法において、入射する荷電粒子線ビーム 3 1 の単位時間当たりの粒子数およびビーム形状が一定である場合は、スキャンパターン  $I_{ij}(t)$  を図 6 (半径) または図 7 (直径) のようにすれば、図 1 5 で示したように照射領域をスキャンした時に、図 4 で示しているような平坦な粒子数密度分布を実現できる。

【 0 0 6 9 】

図 6 および図 7 のようにスキャンパターン  $I_{ij}(t)$  を基本的に時間変数  $t$  の平方根に比例するようにすることによって、図 1 5 で示しているスキャンにおいて掃引速度を回転中心軸からの距離に反比例するように制御できる。それは図 5 で示したように電磁石 3 3、3 5 に流す電流とスキャン距離とは比例関係にあるためである。また、掃引速度と回転中心軸からの距離の反比例関係は図 4 の平坦な粒子数密度分布を実現できる。

【 0 0 7 0 】

さらに、図 1 5 で示した入射軸 3 0 を中心に回転角度ごとに、半径のみに渡ってスキャンする方が、直径に渡ってスキャンするのに比べて図 1 で示したスキャン電磁石 3 3、3 5 の磁極幅 4 1、ビームの方向に沿った長さをそれぞれ短くでき、照射装置の小型軽量化が図れる。

【 0 0 7 1 】

また上記説明では、荷電粒子線のスキャン手段としてスキャン電磁石 3 3、3 5 を備えた照射装置 2 0 を用いたが、これに限るものではなく、他の荷電粒子線のスキャン手段、例えば、実施の形態 3 のスキャン電極を備えた照射装置 2 0 等を用いてもよい。この場合、スキャンパターン  $I_{ij}(t)$  に従って照射装置 2 0 へ供給する電圧を変えることになる。すなわち電圧スキャンパターン  $I_{ij}(t)$  となる。

【 0 0 7 2 】

また、上記各実施の形態の装置および方法は荷電粒子線治療の装置に限るものではなく、

10

20

30

40

50

半導体分野や材料分野等の荷電粒子線の照射または注入を必要とする分野にも広く応用できる。

【0073】

【発明の効果】

以上のようにこの発明では、荷電粒子線を互いに逆方向に同じ角度だけ曲げる1組の場からなるスキャンング場を発生するスキャンング場発生手段と、上記荷電粒子線の入射軸を中心に上記スキャンング場発生手段を回転させる回転手段と、で荷電粒子線照射装置を構成したので、2軸方向平行ビームスキャンングが行える小型の荷電粒子線照射装置を提供できる。

【0074】

また、上記スキャンング場発生手段を磁場を発生するものとしたので、スキャンング磁場を発生する小型の荷電粒子線照射装置を提供できる。

【0075】

また、上記スキャンング場発生手段を電場を発生するものとしたので、スキャンング電場を発生する小型の荷電粒子線照射装置を提供できる。

【0076】

またこの発明では、上記荷電粒子線を照射面に垂直になるように偏向する荷電粒子線の偏向手段と、この偏向手段の下流側に設置され、上記荷電粒子線を互いに逆方向に同じ角度だけ曲げる1組の場からなるスキャンング場を発生するスキャンング場発生部、および上記荷電粒子線の入射軸を中心に上記スキャンング場発生部を回転させる回転部を含み、上記偏向手段からの荷電粒子線をスキャンングさせる荷電粒子線照射装置と、上記荷電粒子線照射装置と被照射体の間に設けられた荷電粒子線エネルギー調整手段と、少なくとも上記偏向手段および荷電粒子線照射装置を一体化して回転させる回転移動手段と、で荷電粒子線照射装置を構成したので、2軸方向平行ビームスキャンングが行える小型の荷電粒子線照射装置を設けたので被照射体を移動させる必要がなく、かつこの荷電粒子線照射装置を偏向手段の下流側に設けたので偏向手段を小形化できるため、小形の荷電粒子線照射装置を提供できる。

【0077】

またこの発明では上記荷電粒子線照射装置において、上記荷電粒子線が上記回転移動手段の回転軸方向から上記偏向手段に入射され、上記偏向手段は、照射面に平行な方向から入射された荷電粒子線を3回の90度の偏向により照射面に垂直になるように偏向する3つの偏向電磁石を含み、上記被照射体が上記回転移動手段の回転軸上に配置されるようにしたので、上記回転移動手段の制御が容易な荷電粒子線照射装置を提供できる。

【0078】

またこの発明では上記荷電粒子線照射装置において、上記偏向手段の各偏向電磁石を超電導電磁石で構成したのでさらに小形の荷電粒子線照射装置を提供できる。

【0079】

またこの発明では、荷電粒子線を互いに逆方向に同じ角度だけ曲げる1組の場からなるスキャンング場を発生するスキャンング場発生部、および上記荷電粒子線の入射軸を中心に上記スキャンング場発生部を回転させる回転部を含み、上記荷電粒子線をスキャンングさせる荷電粒子線照射装置と、上記荷電粒子線照射装置と被照射体の間に設けられた荷電粒子線のエネルギーを調整する荷電粒子線エネルギー調整手段と、上記荷電粒子線照射装置と被照射体の間に設けられ照射された荷電粒子線の線量および位置をモニタする線量・位置測定手段と、上記荷電粒子線を停止させる手段と、上記各手段に接続されてスキャンング制御を行う制御手段と、を備え、上記制御手段が、照射領域の座標群 $[P_i : i = 1, 2, \dots, n]$  (初期値として $i = 1$ ) に合わせて上記スキャンング場発生部の回転角度、場の強度、および上記荷電粒子線のエネルギーを設定する第1の手段と、上記設定に従って荷電粒子線を照射させる第2の手段と、上記荷電粒子線の照射された粒子数が予め設定された設定粒子数以上になった場合および上記荷電粒子線の照射位置座標が予め設定された設定位置座標と一致しない場合のいずれかの場合に上記荷電粒子線を停止させる第

10

20

30

40

50

3の手段と、上記荷電粒子線が停止された時に、全ての照射領域への照射が完了したか否かを判断し、完了していなければ、 $i$ を1つ増加させて上記スキニング場発生部の回転角度、場の強度、および上記荷電粒子線のエネルギーを所定の順序で変更しながら上記第1の手段から第3の手段を繰り返し起動させ、完了していれば照射を終了する第4の手段と、を備えた荷電粒子線照射装置を構成したので、被照射体を移動させることなく正確な位置に正確な線量の照射を行える荷電粒子線照射装置を提供できる。

【0080】

またこの発明では上記荷電粒子線照射装置において、上記第4の手段において、上記スキニング場発生部の回転角度を一定に保持し、上記スキニング場発生部の場の強度および荷電粒子線のエネルギーを所定の順序で変更しながら上記第1の手段から第3の手段を繰り返して起動させるようにしたので、変化速度の遅い回転角度の調整回数を減らすことにより、照射に係る全体の時間を短縮した荷電粒子線照射装置を提供できる。

10

【0081】

またこの発明では、荷電粒子線を互いに逆方向に同じ角度だけ曲げる1組の場からなるスキニング場を発生するスキニング場発生部、および上記荷電粒子線の入射軸を中心に上記スキニング場発生部を回転させる回転部を含み、上記荷電粒子線をスキニングさせる荷電粒子線照射装置と、上記荷電粒子線照射装置と被照射体の間に設けられた荷電粒子線のエネルギーを調整する荷電粒子線エネルギー調整手段と、上記荷電粒子線照射装置と被照射体の間に設けられ照射された荷電粒子線の線量および位置をモニタする線量・位置測定手段と、上記荷電粒子線を停止させる手段と、上記各手段に接続されてスキニング制御を行う制御手段と、を備え、上記制御手段が、照射領域の座標群 $[(Z_i, i_j), i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n]$ のうちの照射深度の位置座標 $Z_i$ (初期値として $i = 1$ )に合わせて照射する荷電粒子線のエネルギーを設定する第1の手段と、上記スキニング場発生部の回転角度を $i_j$ (初期値として $j = 1$ )に、スキニングパターンの時間特性を $I_{i_j}(t)$ に設定する第2の手段と、上記設定に従って荷電粒子線を照射させ、上記スキニングパターンの時間特性 $I_{i_j}(t)$ により上記スキニング場発生部を駆動し荷電粒子線を所定回数スキニングする第3の手段と、この第3の手段のスキニングと並行して、上記荷電粒子線の照射位置座標が予め設定された設定位置座標と一致するか否かを判定する第4の手段と、上記スキニングが所定回数行われた時および上記荷電粒子線の照射位置座標が設定位置座標と一致しない時に上記荷電粒子線を停止させる第5の手段と、上記荷電粒子線が停止された時に全ての照射領域への照射が完了したか否かを判断し、完了していれば照射を終了し、完了していなければ照射深度の位置座標 $Z_i$ を次の値に変更するか否かを判断し、変更しない場合は $j$ を1つを増加させて、上記第2の手段から第5の手段を繰り返して起動させ、変更する場合は $i$ を1つを増加させ、 $j$ を初期値の1にして、上記第1の手段から第5の手段を繰り返して起動させる第6の手段と、を備えた荷電粒子線照射装置としたので、被照射体を移動させることなく正確な位置に正確な線量の照射を行える荷電粒子線照射装置を提供できる。

20

30

【0082】

またこの発明では上記荷電粒子線照射装置において、上記スキニング場発生部が上記スキニングパターンの時間特性 $I_{i_j}(t)$ を $I_{i_j}(t) \cdot t$ としたので、より均一な照射が可能な荷電粒子線照射装置を提供できる。

40

【0083】

またこの発明では、荷電粒子線を互いに逆方向に同じ角度だけ曲げる1組の場からなるスキニング場を発生するスキニング場発生手段で上記荷電粒子線をこれの入射軸に垂直な面上の一直線上をスキャンさせると共に上記スキニング場発生手段を上記入射軸を中心に回転させて照射領域に荷電粒子線を照射する荷電粒子線の照射方法であって、照射領域の座標群 $[P_i : i = 1, 2, \dots, n]$ (初期値として $i = 1$ )に合わせて上記スキニング場発生手段の回転角度、場の強度、および上記荷電粒子線のエネルギーを設定する第1のステップと、上記設定に従って荷電粒子線を照射させる第2のステップと、上記荷電粒子線の照射された粒子数が予め設定された設定粒子数以上になった場合および上

50

記荷電粒子線の照射位置座標が予め設定された設定位置座標と一致しない場合のいずれかの場合に上記荷電粒子線を停止させる第3のステップと、上記荷電粒子線が停止された時に、全ての照射領域への照射が完了したか否かを判断し、完了していなければ上記第1のステップに戻り、 $i$ を1つ増加させて上記スキニング場発生手段の回転角度、場の強度、および上記荷電粒子線のエネルギーを所定の順序で変更しながら上記第1のステップから第3のステップを繰り返す、完了していれば照射を終了する第4のステップと、を備えた荷電粒子線照射方法としたので、被照射体を移動させることなく正確な位置に正確な線量の照射を行える荷電粒子線照射方法を提供できる。

【0084】

またこの発明では荷電粒子線照射方法において、上記上記第4のステップで、上記スキニング場発生手段の回転角度を一定に保持し、上記スキニング場発生手段の場の強度および荷電粒子線のエネルギーを所定の順序で変更しながら上記第1のステップから第3のステップを繰り返すようにしたので、変化速度の遅い回転角度の調整回数を減らすことにより、照射に係る全体の時間を短縮した荷電粒子線照射方法を提供できる。

【0085】

またこの発明では、荷電粒子線を互いに逆方向に同じ角度だけ曲げる1組の場からなるスキニング場を発生するスキニング場発生手段で上記荷電粒子線をこれの入射軸に垂直な面上の一直線上をスキャンさせると共に上記スキニング場発生手段を上記入射軸を中心に回転させて照射領域に荷電粒子線を照射する荷電粒子線の照射方法であって、照射領域の座標群 $[(Z_i, i_j), i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n]$ のうち 20  
 の照射深度の位置座標 $Z_i$ (初期値として $i = 1$ )に合わせて照射する荷電粒子線のエネルギーを設定する第1のステップと、上記スキニング場発生手段の回転角度を $i_j$ (初期値として $j = 1$ )に、スキニングパターンの時間特性を $I_{i_j}(t)$ に設定する第2のステップと、上記設定に従って荷電粒子線を照射させ、上記スキニングパターンの時間特性 $I_{i_j}(t)$ により上記スキニング場発生手段を駆動し荷電粒子線を所定回数スキニングする第3のステップと、この第3のステップと並行して、上記荷電粒子線の照射位置座標が予め設定された設定位置座標と一致するか否かを判定する第4のステップと、上記スキニングが所定回数行われた時および上記荷電粒子線の照射位置座標が設定位置座標と一致しない時に上記荷電粒子線を停止させる第5のステップと、上記荷電粒子線が停止された時に全ての照射領域への照射が完了したか否かを判断し、完了していれば照射を終了し、完了していなければ照射深度の位置座標 $Z_i$ を次の値に変更するか否かを判断し、変更しない場合は $j$ を1つを増加させて、上記第2のステップに戻り第2のステップから第5のステップを繰り返す、変更する場合は $i$ を1つを増加させ、 $j$ を初期値の1にして、上記第1のステップに戻り第1のステップから第5のステップを繰り返す第6のステップと、を備えた荷電粒子線照射方法としたので、被照射体を移動させることなく正確な位置に正確な線量の照射を行える荷電粒子線照射方法を提供できる。

【0086】

またこの発明では上記荷電粒子線照射方法において、上記スキニング場発生手段が1回 40  
 に照射領域の半径のみに渡ってスキニングを行い、上記スキニングパターンの時間特性 $I_{i_j}(t)$ を $I_{i_j}(t) \cdot t$ としたので、より均一な照射が可能な荷電粒子線照射方法を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の一実施の形態による荷電粒子線照射装置の構成を示す図である。

【図2】図1のスキニング電磁石の断面図である。

【図3】図1のスキニング電磁石の透視側面図である。

【図4】この発明による荷電粒子線照射装置により荷電粒子線を均一に照射した場合の粒子数密度分布を示す図である。

【図5】この発明における入射荷電粒子線ビームのスキニング距離と電磁石の電流の関係を示す図である。

【図6】この発明における荷電粒子線を均一に照射するためのスキニングパターンの時 50

間特性を示す図である。

【図 7】この発明における荷電粒子線を均一に照射するためのスキヤニングパターンの時間特性を示す図である。

【図 8】この発明による荷電粒子線照射装置のスキヤニング電磁石の他の構成例を示す図である。

【図 9】この発明の一実施の形態による荷電粒子線回転照射装置の構成を示す図である。

【図 10】図 9 の荷電粒子線回転照射装置の偏向電磁石の構造を示す図である。

【図 11】この発明の別の実施の形態による荷電粒子線照射装置の構成を示す図である。

【図 12】この発明の別の実施の形態による荷電粒子線回転照射装置の特に制御系の構成を示す図である。

10

【図 13】この発明の荷電粒子線回転照射装置の制御系の動作の一例を示すフローチャート図である。

【図 14】この発明の荷電粒子線回転照射装置の制御系の動作の別の例を示すフローチャート図である。

【図 15】この発明による荷電粒子線ビームを径方向に渡ってスキヤニングする様子を示す図である。

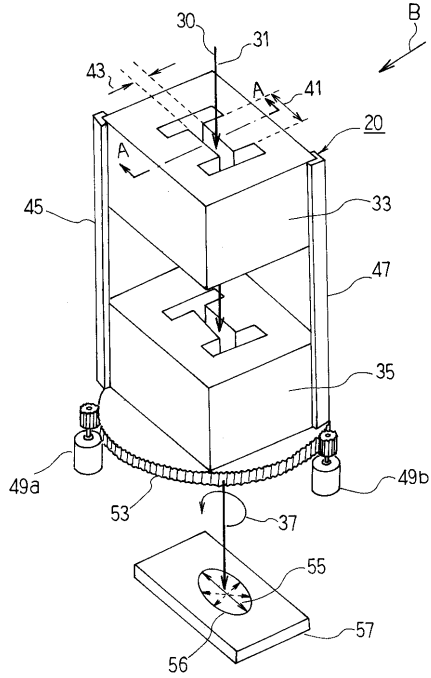
【図 16】従来の荷電粒子線回転照射装置の構成を示す図である。

【符号の説明】

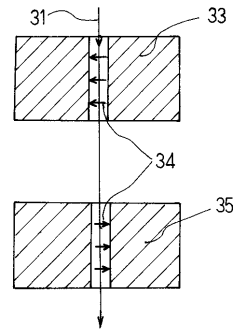
1 粒子加速器、3 輸送系電磁石、5, 21 エネルギーディグレーダ、9 ビームストップ、10 回転ガントリー、11, 13, 19 偏向電磁石、15 集束電磁石、20 荷電粒子線照射装置、23 線量・位置モニタ、25 患者、27 照射ベッド、29 ガントリー回転軸、30 入射軸、31 荷電粒子線ビーム、33, 35 スキヤニング電磁石、37 回転軸、45, 47 連結フレーム、49, 49a, 49b モータ、53 回転駆動用歯車、55 掃引軌跡、56 照射領域、57 被照射体、93a, 93b, 95a, 95b 電極、97 絶縁体、99a, 99b 電源、100 荷電粒子線回転照射装置、102 箱、103 ケーブル、105 ケーブルコネクタ、200 制御装置。

20

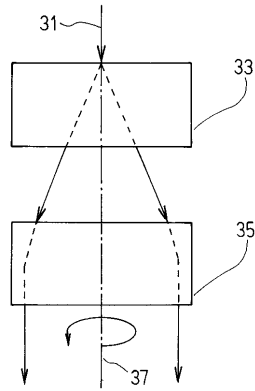
【図1】



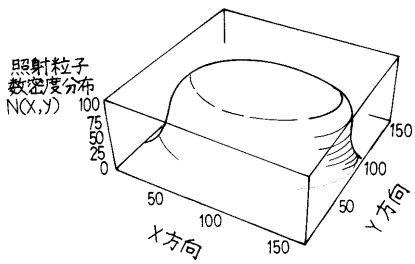
【図2】



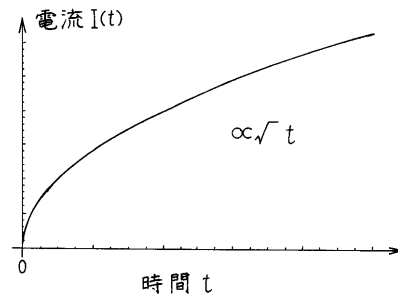
【図3】



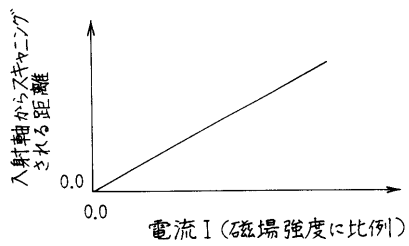
【図4】



【図6】

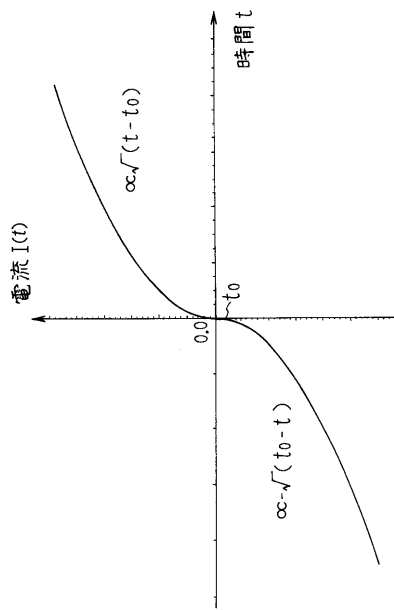


【図5】

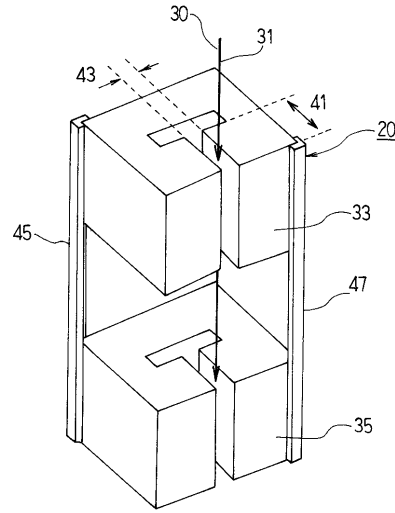




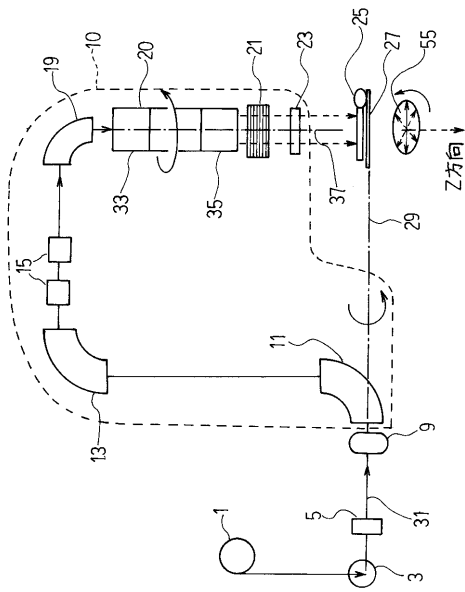
【 図 7 】



【 図 8 】

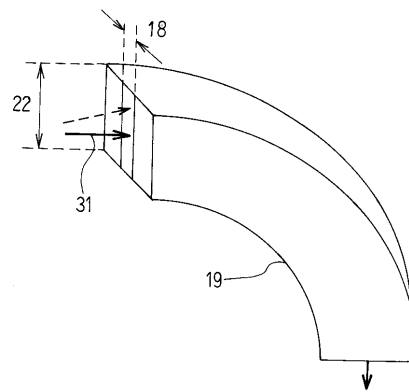


【 図 9 】

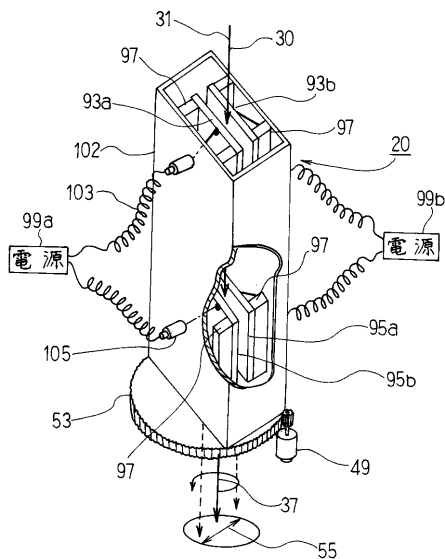


101

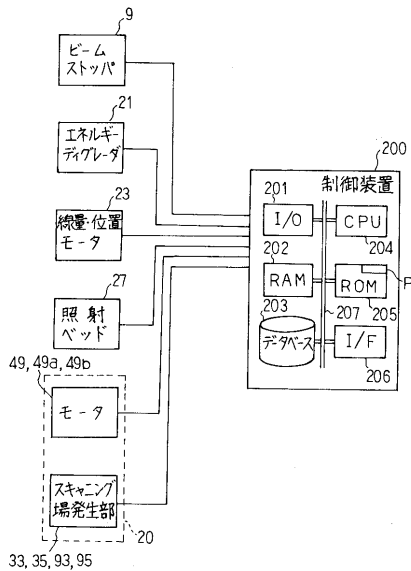
【 図 10 】



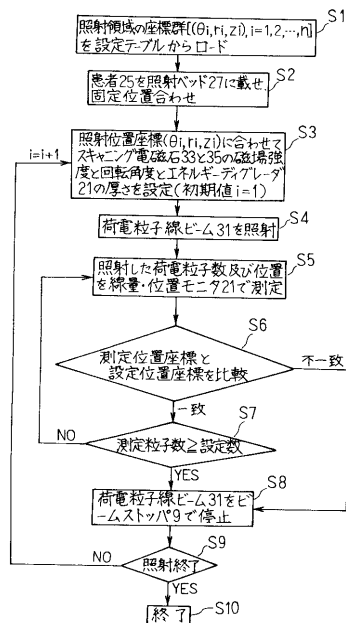
【図11】



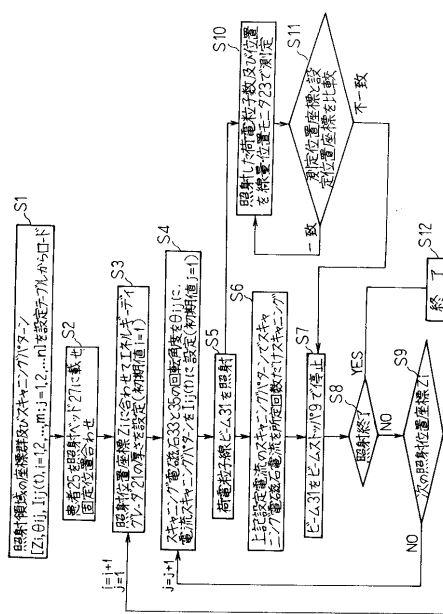
【図12】



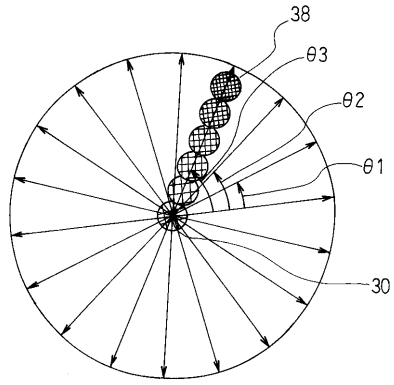
【図13】



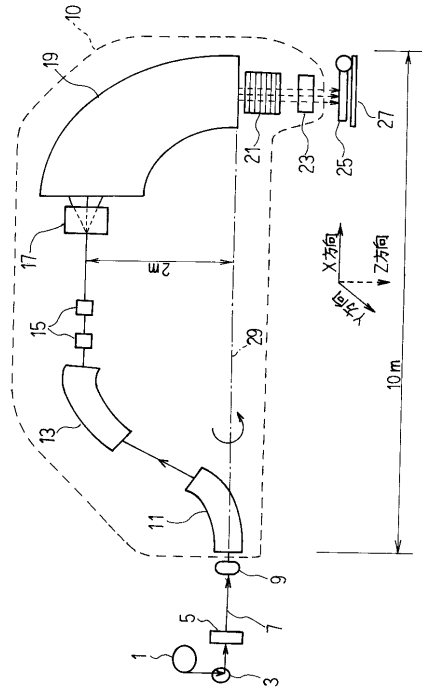
【図14】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100064779

弁理士 黒岩 徹夫

(72)発明者 蒲 越虎

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

審査官 大熊 靖夫

(56)参考文献 特開平09-223600(JP,A)

特開平07-227435(JP,A)

Eros Pedroni et al., The 200-MeV proton therapy project at the Paul Scherrer Institute  
:Conceptual design and practical re, Medical Physics, 米国, Am. Assoc. Phys. Mea., 1  
995年, 22(1), 37-53

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

A61N 5/00

G21K 5/00

H05H 13/00