

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6095117号
(P6095117)

(45) 発行日 平成29年3月15日 (2017.3.15)

(24) 登録日 平成29年2月24日 (2017.2.24)

(51) Int.Cl.

A 6 1 N 5/10 (2006.01)

F 1

A 6 1 N 5/10

Q

請求項の数 5 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2013-164438 (P2013-164438)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成25年8月7日 (2013.8.7)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2015-33402 (P2015-33402A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成27年2月19日 (2015.2.19)	(74) 代理人	110001829
審査請求日	平成28年5月9日 (2016.5.9)		特許業務法人開知国際特許事務所
		(74) 代理人	100077816
			弁理士 春日 譲
		(74) 代理人	100156524
			弁理士 猪野木 雄一
		(72) 発明者	堀 能士
			東京都千代田区外神田一丁目18番13号
			株式会社日立製作所
			インフラシステム社 電力システム本部
			内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ビームモニタシステムおよび粒子線照射システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

収集電極と、信号処理装置と、ビームモニタ制御装置とを備えたビームモニタシステムであって、

前記収集電極は、通過する荷電粒子ビームを検出する電極であって、隣り合う複数のワイヤ電極を一つのグループとした前記グループを複数有し、このグループは隣り合う複数の前記ワイヤ電極で構成される区分に分割され、あるグループのある区分に属する各々の前記ワイヤ電極は他のグループに属する区分のいずれか一つの前記ワイヤ電極とそれぞれ同一の配線によって前記信号処理装置に対して各々接続され、このうち他のグループに属する区分のいずれか一つの前記ワイヤ電極は2チャンネルは物理的に連続しないようにグループ毎に異なるように置換されて前記同一の配線によって前記信号処理装置に対して各々接続されており、

前記信号処理装置は、前記ワイヤ電極から出力された検出信号を計画したビーム照射目標位置に関連する情報と前記置換接続の情報とに基づいて並び替え、処理信号として出力し、

前記ビームモニタ制御装置は、前記信号処理装置から出力された処理信号に基づいて、前記ワイヤ電極を通過した荷電粒子ビームのビーム位置とビーム幅とを演算する

ことを特徴とするビームモニタシステム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のビームモニタシステムにおいて、

10

20

前記ビームモニタ制御装置は、前記信号処理装置からの処理信号から求めたビーム分布のフィッティング関数と実測値とのチャンネル毎のずれが許容値以下であるか否かを判定し、前記ずれが許容値以下であると判定されるときは適切な照射であると判断し、前記ずれが許容値より大きいときは適切でない照射であると判断して警告用信号を出力すること

ことを特徴とするビームモニタシステム。

【請求項 3】

請求項 2 に記載のビームモニタシステムにおいて、

前記ビームモニタ制御装置は、前記信号処理装置からの処理信号から求めたビーム分布のフィッティング関数と実測値とのチャンネル毎のずれとして、差分もしくは差分の和もしくは差分の二乗和の分散値の少なくともいずれかを演算すること

ことを特徴とするビームモニタシステム。

【請求項 4】

収集電極と、信号処理装置と、ビームモニタ制御装置とを備えたビームモニタシステムであって、

前記収集電極は、通過する荷電粒子ビームを検出する電極であって、隣り合う複数のワイヤ電極を一つのグループとした前記グループを複数有し、このグループは隣り合う複数の前記ワイヤ電極で構成される区分に分割され、あるグループのある区分に属する各々の前記ワイヤ電極は他のグループに属する区分のいずれか一つの前記ワイヤ電極とそれぞれ同一の配線によって前記信号処理装置に対して各々接続され、このうち他のグループに属する区分のいずれか一つの前記ワイヤ電極は 2 チャンネルは物理的に連続しないようにグループ毎に異なるように置換されて前記同一の配線によって前記信号処理装置に対して各々接続されており、

前記信号処理装置は、前記収集電極の前記ワイヤ電極から出力された検出信号を受け取って信号処理する信号処理装置であって、前記ワイヤ電極から出力された検出信号を元に全てのビーム位置に対してとりうる区分の組合せに対する並び替えを全て実施し、処理信号として出力し、

前記ビームモニタ制御装置は、前記信号処理装置から出力された処理信号から、ビーム分布のフィッティング関数と実測値とのチャンネル毎のずれとして、差分もしくは差分の和もしくは差分の二乗和の分散値の少なくともいずれかを演算し、それぞれの区分の組合せに対する前記差分もしくは前記差分の和もしくは前記差分の二乗和の分散値の少なくともいずれかの演算結果が許容値以下かつ最小となる場合を実照射位置と判断し、前記ワイヤ電極を通過した荷電粒子ビームのビーム位置とビーム幅とを演算する

ことを特徴とするビームモニタシステム。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のビームモニタシステムを備えた

ことを特徴とする粒子線照射システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は荷電粒子ビーム（粒子線）の照射システムにおけるビーム位置を監視するビームモニタシステムに係り、特に、陽子や炭素イオン等の粒子線を患部に照射して治療する粒子線治療装置に適用するのに好適な粒子線照射システムのビームモニタシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

がん等の患者の患部に陽子もしくは炭素イオン等の荷電粒子ビーム（粒子線、イオンビーム）を照射する治療方法が知られている。この治療に用いる粒子線照射システムは、荷電粒子ビーム発生装置を備えている。荷電粒子ビーム発生装置で加速されたイオンビームは、第 1 ビーム輸送系および回転ガントリに設けられた第 2 ビーム輸送系を経て回転ガントリに設置された照射装置に達する。イオンビームは照射装置より出射されて患者の患部

10

20

30

40

50

に照射される。

【 0 0 0 3 】

照射装置の照射方式としては、例えば非特許文献 1 に記載のような、散乱体によってビームを広げた後に患部形状に合せて切り出す二重散乱体方式（非特許文献 1 の 2 0 8 1 頁、図 3 5）、ウォブラ法（非特許文献 1 の 2 0 8 4 頁、図 4 1）、および細かいビームを患部領域内に走査させるスキヤニング方式（非特許文献 1 の 2 0 9 2 頁および 2 0 9 3 頁）が知られている。

【 先行技術文献 】

【 非特許文献 】

【 0 0 0 4 】

10

【 非特許文献 1 】 REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS、 VOLUME.64、 NUMBER 8、 (AUGUST 1993)、 P2074-2093.

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

上記のビーム照射法の中でも、正常細胞に対する影響が少なく、ノズル内蔵機器が不要であるという特徴からスキヤニング方式に注目が集まっている。スキヤニング方式は、照射対象への照射量に対応して荷電粒子ビームの出力を停止させ、エネルギーおよび走査電磁石を制御することによりスポットと呼ばれる荷電粒子ビームの照射位置を変更し、変更完了後に荷電粒子ビームの出射を再開することで、順次照射位置を切り替えながら照射対象（患部）の形状に合わせてビームを照射することが特徴である。

20

【 0 0 0 6 】

荷電粒子照射システムにおいては、患部の形状に合わせて照射するために走査電磁石下流側、照射対象である患者の直前にビーム位置監視モニタ（以降、スポット位置モニタと呼ぶ）が設置される。

【 0 0 0 7 】

スポット位置モニタはマルチワイヤと呼ばれる検出器（以降、チャンネルと呼ぶ）からなり、チャンネル毎にビームの通過によって発生した電荷量をコンデンサに蓄積し、誘起された電圧を読み出す方式の検出器である。各チャンネルで検出する信号は微弱であることからチャンネルの下流側には増幅器が設置され、チャンネルで検出した信号（検出信号）は増幅器を介して信号処理装置に送られる。信号処理装置が全てのマルチワイヤからの検出信号を受け取ることによって、ビームの位置および幅を検出することができる。

30

【 0 0 0 8 】

スポット位置モニタのビーム位置及びビーム幅の検出精度を向上するために、チャンネル数を増やすことが考えられる。スポット位置モニタには、チャンネル数に伴い信号増幅器や信号処理装置が必要であり、ビームの位置および幅検出には全てのチャンネルに対して信号増幅および信号処理を行う為、チャンネル数が増えるほどモニタシステムが大規模かつ複雑な構成になり、またコストが高くなってしまいう課題があった。

【 0 0 0 9 】

本発明の目的は、スキヤニング方式のスポット照射において、正確な位置特定を行うことができ、適切な照射であるか否かという判断を高精度化することができるビームモニタシステムおよびそれを備えた粒子線照射システムを提供することを目的とする。

40

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

上記課題を解決するために、例えば特許請求の範囲に記載の構成を採用する。

本発明は、上記課題を解決する手段を複数含んでいるが、その一例を挙げるならば、収集電極と、信号処理装置と、ビームモニタ制御装置とを備えたビームモニタシステムであって、前記収集電極は、通過する荷電粒子ビームを検出する電極であって、隣り合う複数のワイヤ電極を一つのグループとした前記グループを複数有し、このグループは隣り合う複数の前記ワイヤ電極で構成される区分に分割され、あるグループのある区分に属する各

50

々の前記ワイヤ電極は他のグループに属する区分のいずれか一つの前記ワイヤ電極とそれぞれ同一の配線によって前記信号処理装置に対して各々接続され、このうち他のグループに属する区分のいずれか一つの前記ワイヤ電極は2チャンネルは物理的に連続しないようにグループ毎に異なるように置換されて前記同一の配線によって前記信号処理装置に対して各々接続されており、前記信号処理装置は、前記ワイヤ電極から出力された検出信号を計画したビーム照射目標位置に関連する情報と前記置換接続の情報とに基づいて並び替え、処理信号として出力し、前記ビームモニタ制御装置は、前記信号処理装置から出力された処理信号に基づいて、前記ワイヤ電極を通過した荷電粒子ビームのビーム位置とビーム幅とを演算することを特徴とする。

【発明の効果】

10

【0011】

本発明によれば、正確な位置へのビーム照射だけでなく、誤った位置へのビーム照射を正確に検出することができるビームモニタシステムを実現することができ、スキャニング方式のスポット照射において、正確な位置特定を行うことができ、適切な照射であるか否かの判断を高精度化することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の粒子線照射システムの第1の実施形態の全体構成を示す構成図である。

【図2】本発明の粒子線照射システムの第1の実施形態を構成するスキャニング照射システムおよび照射制御システムの概略を示す構成図である。

20

【図3】本発明の粒子線照射システムの第1の実施形態におけるビームモニタシステムの概略図である。

【図4】スキャニング照射方式による荷電粒子ビーム照射の制御のフローチャート図である。

【図5】本発明のビームモニタシステムの第1の実施形態におけるチャンネルのグループ化処理接続の一例を示す概略図である。

【図6】本発明のビームモニタシステムの第1の実施形態における置換接続の一例を示す概略図である。

【図7】本発明のビームモニタシステムの第1の実施形態における置換接続の一例を示す概略図である。

30

【図8】本発明のビームモニタシステムの第1の実施形態におけるチャンネルグループ化モニタシステムの概略図である。

【図9】本発明のビームモニタシステムの第1の実施形態における置換接続の一例を示す概略図である。

【図10】本発明のビームモニタシステムの第1の実施形態における置換接続の一例を示す概略図である。

【図11】本発明のビームモニタシステムの第1の実施形態におけるチャンネルグループ化モニタシステムの概略図である。

【図12】本発明のビームモニタシステムの第1の実施形態におけるチャンネルグループ化モニタシステムの正常時における出力分布を示す図である。

40

【図13】本発明のビームモニタシステムの第1の実施形態におけるチャンネルグループ化モニタシステムの異常時における出力分布を示す図である。

【図14】本発明のビームモニタシステムの第1の実施形態におけるチャンネルグループ化モニタシステムの異常時における照射位置特定の概念図である。

【図15】本発明のビームモニタシステムの第2の実施形態におけるフィッティング関数と実測値の分布の一例を示す図である。

【図16】本発明のビームモニタシステムの第2の実施形態におけるフィッティング関数と実測値の分布の他の例を示す図である。

【図17】ラスタースキャン方式による荷電粒子ビーム照射の制御のフローチャート図である。

50

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下に本発明のビームモニタシステムおよび粒子線照射システムの実施形態を、図面を用いて説明する。

【0014】

<第1の実施形態>

本発明のビームモニタシステムおよび粒子線照射システムの第1の実施形態を、図1乃至図14を用いて説明する。

なお、本発明において、粒子線照射システムとは、治療室内の治療台（ベッド装置）10上に固定された患者の患部に対して荷電粒子ビーム12（例えば、陽子線や炭素線等）を照射するシステムのことを意味する。

10

【0015】

まず、本発明の粒子線照射システムの構成について、図1乃至図4を用いて説明する。

図1は本発明の粒子線照射システムの第1の実施形態の全体構成を示す構成図、図2は本発明の粒子線照射システムの第1の実施形態を構成するスキャンング照射システムおよび照射制御システムの概略を示す構成図、図3は本発明の粒子線照射システムの第1の実施形態におけるビームモニタシステムの概略図、図4はスキャンング照射方式による荷電粒子ビーム照射の制御のフローチャート図である。

【0016】

本実施形態の粒子線照射システムは、荷電粒子ビーム発生装置1、ビーム輸送系2、スキャンング照射装置3および制御システム4を概略備えている。

20

【0017】

荷電粒子ビーム発生装置1は、イオン源（図示せず）、前段加速器15および円形加速器（シンクロトロン）16を有する。本実施形態では、円形加速器16としてシンクロトロンを例に説明するが、サイクロトロン等の他の加速器であってもよい。前段加速器15の上流側にイオン源が接続され、前段加速器15の下流側に円形加速器16が接続される。

【0018】

ビーム輸送系2は、荷電粒子ビーム発生装置1の下流側に接続されており、荷電粒子ビーム発生装置1とスキャンング照射装置3とを接続する。

30

【0019】

スキャンング照射装置3は、荷電粒子ビーム12を患者の患部に照射するための装置であり、図2に示すように、患者13を載せる治療台10、照射ノズル（ノズル装置）11および回転ガントリ14とを概略備える。

治療台10は、治療室内に配置されており、患者13を載せて、患部の位置決めを行う。

照射ノズル11には、図2に示すように、荷電粒子ビーム12の進行方向の上流側から順番に、上流ビームモ~~ニ~~タ11a、走査電磁石11b、線量モ~~ニ~~タ11cおよび下流ビームモ~~ニ~~タ11dがビーム経路に沿って配置される。照射ノズル11は、スキャンングビームの照射野を形成する。

40

上流ビームモ~~ニ~~タ11aは、照射ノズル11内に入射された荷電粒子ビーム12の通過位置およびビーム幅（ビーム径）を計測する。

走査電磁石11bは、通過する荷電粒子ビームを第一の方向（例えば、X軸方向）に偏向・走査する第1走査電磁石11b1と、第一の方向と垂直な第二の方向（例えば、Y軸方向）に荷電粒子ビームを偏向・走査する第二走査電磁石11b2を備える。ここで、X軸方向とは、照射ノズル11に入射された荷電粒子ビームの進行方向に垂直な平面内の一方向であり、Y軸方向とは、当該平面内であってX軸と垂直な方向を示す。

線量モ~~ニ~~タ11cは、通過する荷電粒子ビームの照射線量を計測する。すなわち、線量モ~~ニ~~タ11cは、患者に照射された荷電粒子ビームの照射線量を監視するモ~~ニ~~タである。

下流ビームモ~~ニ~~タ11dは、走査電磁石11bの下流側に設置され、通過する荷電粒子

50

ビームの位置およびビーム幅を計測する。すなわち、下流ビームモニタ 11d は、走査電磁石 11b によって走査された荷電粒子ビームの位置およびビーム幅を計測するモニタである。

【0020】

回転ガントリ 14 は、アイソセンタ（図示せず）を中心に回転可能な構成であり、ビームの照射角度を決める。回転ガントリ 14 が回転することによって、患者 13 に照射する荷電粒子ビーム 12 の照射角度を変更することができる。

【0021】

制御システム 4 は、図 1 に示すように、中央制御装置 5、加速器・輸送系制御システム 7 および照射制御システム 8 を概略備える。

10

中央制御装置 5 は、治療計画装置 6、加速器・輸送系制御システム 7、照射制御システム 8 および操作端末 40 に接続される。この中央制御装置 5 は、治療計画装置 6 からの設定データに基づいて、加速器運転のための運転パラメータの設定値、照射野を形成するための運転パラメータ、計画されるビーム位置およびビーム幅、線量の設定値を算出する機能を備えている。これらの運転パラメータおよびモニタ設定値は、中央制御装置 5 から加速器・輸送系制御システム 7 および照射制御システム 8 に出力される。

加速器・輸送系制御システム 7 は、荷電粒子ビーム発生装置 1 およびビーム輸送系 2 に接続され、荷電粒子ビーム発生装置 1 およびビーム輸送系 2 を構成する機器を制御する。

照射制御システム 8 は、スキャニング照射装置 3 に接続され、スキャニング照射装置 3 を構成する機器を制御する。

20

操作端末 40 は、操作者（医者、オペレータ等の医療従事者）がデータや指示信号を入力する入力装置および表示画面を備えている。

【0022】

照射制御システム 8 について、図 2 を用いて説明する。

照射制御システム 8 は、患者機器制御装置 8a、モニタ監視制御装置 8b および走査電磁石電源制御装置 8c を備える。

患者機器制御装置 8a は、回転ガントリ 14 を構成する各機器を制御する回転ガントリ制御装置 8a1、治療台 10 を移動して位置決め制御する治療台制御装置 8a2、ノズル 11 内に配置された機器を制御するノズル内機器制御装置 8a3 を備えている。このうち、回転ガントリ制御装置 8a1 は、回転ガントリ 14 の回転角度を制御することで、患者 13 に照射する荷電粒子ビームの照射角度を制御する。

30

【0023】

モニタ監視制御装置 8b は、上流ビームモニタ 11a を監視制御する上流ビームモニタ監視制御装置 8b1、下流ビームモニタ 11d を監視制御する下流ビームモニタ監視制御装置 8b2、線量モニタ 11c を監視制御する線量監視制御装置 8b3 を概略備える。

【0024】

上流ビームモニタ監視制御装置 8b1 は上流ビームモニタ 11a に入射された荷電粒子ビームのビーム位置およびビーム幅を計測する機能を有し、荷電粒子ビームに異常がないか否かを判定する機能（異常判定処理）を有する。

下流ビームモニタ監視制御装置 8b2 は、走査電磁石 11b によって走査され、下流ビームモニタ 11d に入射された荷電粒子ビームのビーム位置およびビーム幅を計測する機能を有する。すなわち、走査された荷電粒子ビームのビーム位置およびビーム幅に異常がないか否かを判定する機能（異常判定処理）を有する。上流ビームモニタ監視制御装置 8b1 や下流ビームモニタ監視制御装置 8b2 の機構は、具体的には以下の通りである。

40

【0025】

上流ビームモニタ監視制御装置 8b1 は、上流ビームモニタ 11a で計測された計測データを受信して演算処理し、荷電粒子ビームが通過した位置およびビーム幅を求める。求めたビーム位置が予め定められた範囲外の場合、またはビーム幅が予め定められた範囲外の場合、上流ビームモニタ監視制御装置 8b1 は、ビーム異常と判定し、中央制御装置 5 に異常信号を出力する。

50

【0026】

下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 は、下流ビームモニタ 1 1 d で計測した計測データを受信して演算処理し、荷電粒子ビームが通過した位置およびビーム幅を求める。求めたビーム位置が予め定められた範囲外の場合、またはビーム幅が予め定められた範囲外の場合、下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 はビーム異常と判定し、中央制御装置 5 に異常信号を出力する。

中央制御装置 5 は、上流ビームモニタ監視制御装置 8 b 1 または下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 から異常信号を入力すると、加速器・輸送系制御システム 7 にビーム停止指令信号を出力し、荷電粒子ビーム発生装置 1 から出射する荷電粒子ビームを停止させる。

10

本実施形態では、荷電粒子ビーム発生装置 1 から出射する荷電粒子ビームを停止するように制御したが、中央制御装置 5 がビーム輸送系 2 を制御し、照射ノズル 1 1 に入射される荷電粒子ビームを停止するように制御してもよい。

ここで、荷電粒子ビームのビーム位置とは、例えば、ビームモニタ（上流ビームモニタ 1 1 a または下流ビームモニタ 1 1 d）を通過する荷電粒子ビームの重心位置のことを示す。

また、荷電粒子ビームのビーム幅とは、ビームモニタ（上流ビームモニタ 1 1 a または下流ビームモニタ 1 1 d）を通過した荷電粒子ビームの領域を示す。ビーム幅の求め方には、例えば、ビーム進行方向に垂直な平面上に配置されたビームモニタ（上流ビームモニタ 1 1 a または下流ビームモニタ 1 1 d）で荷電粒子ビームを検出した領域の面積を算出する方法や、このようなビームモニタでの荷電粒子ビームの検出領域の面積および当該検出領域の幅を算出する方法などがある。

20

【0027】

走査電磁石電源制御装置 8 c は、走査電磁石 1 1 b の電源装置（図示せず）を制御することによって、走査電磁石 1 1 b に励磁する励磁電流を制御し、患者 1 3 への荷電粒子ビームの照射位置を変更する。

【0028】

次に、図 4 を用いて、患者に対する治療開始から治療終了までの流れを説明する。

本実施形態では、患者 1 3 の患部をビーム進行方向（患者 1 3 の体表面からの深さ方向）に対して複数の層（以下、レイヤーという）に分割し、各レイヤーを複数のスポットである小領域に分けてビーム照射するスポットスキニング照射法を例に説明する。

30

【0029】

治療計画装置 6 は、予め取得された患者の治療計画情報を記憶している。治療計画情報は、照射データ（ビームエネルギー情報、照射位置情報、各照射位置に対する荷電粒子ビームの目標線量値等）および許容値データ（上流ビームモニタ 1 1 a での許容ビーム位置情報および許容ビーム幅情報や、各照射位置に対する下流ビームモニタ 1 1 d での許容ビーム位置情報および許容ビーム幅情報等）を含んでいる。

なお、本実施形態では、治療計画装置 6 が照射データおよび許容値データを求める構成としたが、治療計画装置 6 が照射データを求め、中央制御装置 5 が許容値データを求める構成としても良い。この場合、治療計画装置 6 は、許容値データを求めるのに必要なデータを中央制御装置 5 に送信し、中央制御装置 5 は受け取ったデータに基づいて許容値データを算出する。照射データである目標線量値は、各レイヤー内のスポット位置毎に定められる。

40

【0030】

患者 1 3 が治療台（ベッド）上に固定されると、医師は操作端末 4 0 の入力装置から準備開始信号を入力する。

準備開始信号を受信した中央制御装置 5 は、該当する患者の治療計画情報を治療計画装置 6 から受け取り、治療台制御装置 8 a 2 にベッド位置情報を出力する。治療台制御装置 8 a 2 は、ベッド位置情報に基づいて患者 1 3 をビーム軸の延長線上の所定位置に配置するように治療台 1 0 を移動し、位置決めする。また、中央制御装置 5 は、回転ガントリ制

50

御装置 8 a 1 にガントリ角度情報を出力する。回転ガントリ制御装置 8 a 1 は、ガントリ角度情報に基づいて回転ガントリ 1 4 を回転させて所定の角度に配置する。また、中央制御装置 5 は、照射位置毎の荷電粒子ビームの目標線量値や許容値データをモニタ監視制御装置 8 b に送信する。中央制御装置 5 は、照射データに含まれるビームエネルギー情報および照射位置情報に基づいて、走査電磁石 1 1 b に励磁すべき励磁電流値を算出し、励磁電流パラメータを求め、走査電磁石電源制御装置 8 c に励磁電流パラメータを送信する。さらに、中央制御装置 5 は、治療計画情報に基づいて円形加速器 1 6 の加速運転のための運転パラメータや、円形加速器 1 6 から出射された荷電粒子ビームを照射ノズル 1 1 に輸送するためのビーム輸送系 2 の運転パラメータを求め、加速器・輸送系制御システム 7 にこれらの運転パラメータを送信する。

10

【 0 0 3 1 】

治療の準備が完了すると、医師は操作端末 4 0 の入力装置から治療開始信号を入力する。

治療開始信号が入力された中央制御装置 5 は、加速器・輸送系制御システム 7 に指令信号を送信する。

次いで、加速器・輸送系制御システム 7 は、最初に照射するレイヤー（最初のビームエネルギー情報）に相当する運転パラメータを円形加速器 1 6 およびビーム輸送系 2 に設定する。円形加速器 1 6 およびビーム輸送系 2 の運転パラメータが設定されて運転開始準備が完了すると（ステップ S 3 0 ）、走査電磁石電源制御装置 8 c は励磁電流パラメータに基づいて走査電磁石 1 1 b を励磁する（ステップ S 3 1 ）。最初の照射スポットに対応する励磁電流が走査電磁石 1 1 b に励磁された後、モニタ監視制御装置 8 b の線量監視制御装置 8 b 3 が、当該スポット位置に対する目標線量値に基づいてビームの照射線量の監視を開始し（ステップ S 3 2 ）、照射準備が完了する。

20

【 0 0 3 2 】

中央制御装置 5 がビーム出射開始指令を送信すると（ステップ S 3 3 ）、加速器・輸送系制御システム 7 はイオン源を起動し、荷電粒子（陽子または重粒子）を生成する。前段加速器 1 5 は、イオン源からの荷電粒子を加速し、円形加速器 1 6 に出射する。円形加速器 1 6 は、荷電粒子ビームを更に加速する。周回する荷電粒子ビームは目標エネルギーまで加速され、円形加速器 1 6 からビーム輸送系 2 に出射される。荷電粒子ビームは、ビーム輸送系 2 を経てスキャンニング照射装置 3 に到達する。荷電粒子ビームは、照射ノズル 1 1 内をビーム軸に沿って進行し、上流ビームモニタ 1 1 a , 走査電磁石 1 1 b , 線量モニタ 1 1 c および下流ビームモニタ 1 1 d を通過する。照射ノズル 1 1 から出射された荷電粒子ビームが患者 1 3 の患部に照射される。

30

【 0 0 3 3 】

線量監視制御装置 8 b 3 は、線量モニタ 1 1 c で計測した計測データを受け取って演算処理し、当該照射スポットに対する照射線量を求める。最初の照射スポットに対する照射線量値が目標線量値に達するまで荷電粒子ビームの照射を続ける。線量監視制御装置 8 b 3 は、照射線量値が目標線量値に達したと判断すると、中央制御装置 5 に対して照射満了信号を出力する（ステップ S 3 4 ）。中央制御装置 5 は、照射満了信号を受けて荷電粒子ビームの出射を停止する（ステップ S 3 5 ）。

40

【 0 0 3 4 】

次いで、上流ビームモニタ 1 1 a で検出した第 1 検出データを上流ビームモニタ監視制御装置 8 b 1 で取り込むとともに、下流ビームモニタ 1 1 d で検出した第 2 検出データを下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 で取り込む。そして、照射された荷電粒子ビームの位置およびビーム幅を求める（ステップ S 3 6 ）。

演算処理が終了し、ビームの位置およびビーム幅に異常がなければ（ビーム位置が許容ビーム位置の範囲内であり、ビーム幅が許容ビーム幅の範囲内と判断されれば）、照射満了した照射スポットがレイヤー内での最後のスポット位置であるか否かを判定する。最後の照射スポット位置でないと判断された場合（No の場合）はステップ S 3 1 に戻り、走査電磁石電源制御装置 8 c は、次のスポットに荷電粒子ビームを照射するように走査電磁

50

石 1 1 b の励磁電流値を変更する。

走査電磁石電源制御装置 8 c は励磁電流パラメータに基づいて走査電磁石 1 1 b を励磁すると (ステップ S 3 1)、モニタ監視制御装置 8 b の線量監視制御装置 8 b 3 は、次の照射スポット位置に対する目標線量値に基づいてビーム線量の監視を再開する (ステップ S 3 2)。その後、中央制御装置 5 がビーム出射開始指令を送信することで次の照射スポット位置に対する荷電粒子ビームの照射が開始される (ステップ S 3 3)。

照射満了した照射スポットがレイヤー内での最後のスポット位置であると判断されるまで (Yes と判断されるまで)、走査電磁石設定 (ステップ S 3 1) から最後のスポットであるか否かの判定までの制御フロー (ステップ S 3 7) を繰り返し行う。

【 0 0 3 5 】

レイヤー内の全てのスポットへの照射が完了すると、中央制御装置 5 は、照射完了したレイヤーが患者 1 3 に対する最後のレイヤーであるか否かを判断する。最後のレイヤーでない場合 (No の場合)、中央制御装置 5 は加速器・輸送系制御システム 7 に指令信号を送信する。加速器・輸送系制御システム 7 は、次に照射するレイヤーに相当する運転パラメータを円形加速器 1 6 およびビーム輸送系 2 に設定し、次の運転準備を開始する (ステップ S 3 0)。

【 0 0 3 6 】

この制御フロー (ステップ S 3 8) を全てのレイヤーが照射完了するまで繰り返す。全てのスポットおよび全てのレイヤーの照射が完了すると治療終了となる (ステップ S 3 9)。

【 0 0 3 7 】

ここで、従来方式の下流ビームモニタ監視制御装置におけるビーム位置およびビーム幅計測について説明する。

【 0 0 3 8 】

下流ビームモニタ監視制御装置では、ビーム位置および幅計測処理にて、下流ビームモニタの全チャンネル数の計測データを取り込んだ後、各チャンネルにおけるオフセット分を差し引き、ピークチャンネルを検索している。検索終了後、ピークチャンネルの出力の N % (例えば 3 0 %) 以下のデータは除外し、フィッティング処理を行う。その後、照射したビームの位置およびビーム幅を算出する。このような処理は上流ビームモニタ監視制御装置も同様である。

【 0 0 3 9 】

従来方式では、実際にビーム位置およびビーム幅の算出に必要なチャンネルはピークチャンネル出力の N % 以上のチャンネルのみであるにもかかわらず、全チャンネルのデータを取り込み処理する。このため、モニタ信号処理装置 2 2 内のパルスカウンタ、および下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 内の積算パルス取込装置をチャンネル数に応じて設置する必要があった。そのため、モニタシステムが従来よりも多数チャンネルで構成される場合、装置の員数もその分多く設置しなければならないとの問題があった。

【 0 0 4 0 】

本実施形態のビームモニタシステムは、このような課題を解決するために見出されたものである。以下、本実施形態のビームモニタシステムについて説明する。

【 0 0 4 1 】

まずは、ビームモニタシステムの構成について説明する。

本実施形態のビームモニタシステムは、ビームモニタ、モニタ信号処理装置およびビームモニタ制御装置を備える。ここで、ビームモニタシステムとして下流ビームモニタシステムの構成を例に、図 3 を用いて説明する。なお、上流ビームモニタシステムは、下流ビームモニタシステムと同様の構成を有し、ビームモニタのチャンネル数のみが異なる構成となるため、その詳細は省略する。

【 0 0 4 2 】

下流ビームモニタ 1 1 d は、モニタ信号処理装置 2 2 を介して下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 に接続される。

10

20

30

40

50

下流ビームモニタ 11d は、マルチワイヤイオンチェンバ型のビームモニタである。下流ビームモニタ 11d は、荷電粒子ビームの X 方向の通過位置を検出する X 電極、Y 方向の通過位置を検出する Y 電極、電圧を印加する高圧電極（電圧印加電極、図示せず）および電流・周波数変換器（パルス発生器）23 を備える。

本実施形態では、荷電粒子ビームの進行方向の上流側から X 電極、Y 電極の順番で配置された構成を例に説明するが、Y 電極、X 電極の順番で配置される構成であっても良い。

X 電極および Y 電極は、ワイヤ電極（タングステンワイヤ等）が等間隔で張られた構成を有する電荷収集電極である。X 電極および Y 電極を構成するワイヤ電極は、荷電粒子ビームのビーム軌道に配置され、荷電粒子ビームを検出する。高圧電極に電圧を印加することによって、X 電極と高圧電極の間に電場を発生し、Y 電極と高圧電極の間に電場を発生させる。荷電粒子ビームがイオンチェンバを通過すると、高圧電極と X 電極の間の気体および高圧電極と Y 電極の間の気体が電離し、イオンペアが生成される。生成されたイオンペアは、電場によって X 電極および Y 電極に移動して、ワイヤ（以降、チャンネルと呼ぶ）により回収される。従って、各チャンネルの検出電荷量を計測することにより、ビーム形状 21 を測定することができる。また、各チャンネルの検出電荷量を演算処理することにより、ビームの重心位置およびビーム幅を算出できる。

【0043】

各チャンネルで検出された電荷は、電流・周波数変換器 23 に入力される。電流・周波数変換器 23 は、受け取った電荷をパルス信号に変換した後、モニタ信号処理装置 22 にパルス信号（検出信号）を出力する。

モニタ信号処理装置 22 は、2 つのパルスカウンタ 22a を備え、入力したパルス信号を受け取って信号処理する。具体的には、モニタ信号処理装置 22 のパルスカウンタは入力したパルス信号に基づいてパルス数を積算し、積算されたパルス数を下流ビームモニタ監視制御装置 8b2 の積算パルスカウンタ取込装置 8b2-1 に出力する。下流ビームモニタ監視制御装置 8b2 は、2 つの積算パルス取込装置（第 1 の積算パルス取込装置と第 2 の積算パルス取込装置）を備える。

第 1 の積算パルス取込装置は、X 電極につながるパルスカウンタに接続され、X 電極で検出された信号に基づくパルス数のデータ収集を行い、X 軸方向の荷電粒子ビームのビーム位置およびビーム幅を求める。また、第 2 の積算パルス取込装置は、Y 電極につながるパルスカウンタに接続され、Y 電極で検出された信号に基づくパルス数のデータ収集を行い、Y 軸方向の荷電粒子ビームのビーム位置およびビーム幅を求める。第 1 の積算パルス取込装置と第 2 の積算パルス取込装置は、下流ビームモニタ監視制御装置 8b2 内の CPU 8b2-2 に接続される。

第 1 の積算パルス取込装置および第 2 の積算パルス取込装置で収集して求めたビーム位置およびビーム幅のデータ（処理信号）は、CPU にて取り込まれる。CPU は処理信号に基づいて、ワイヤ電極を通過した荷電粒子ビームのビーム形状、ビームの重心位置およびビーム幅を算出する。

ここで、荷電粒子ビームのビーム形状とは、荷電粒子ビームのビーム軌道に垂直な平面内（X-Y 平面）でのビームの強度分布を示す。

【0044】

下流ビームモニタ監視制御装置 8b2 は、X 電極からの検出信号に起因する処理信号に基づいて、X 電極を通過した荷電粒子ビームの X 軸方向のビーム形状を求めることもできる。また、Y 電極からの検出信号に起因する処理信号に基づいて、下流ビームモニタ監視制御装置 8b2 は、Y 電極を通過した荷電粒子ビームの Y 軸方向のビーム形状を求めることもできる。

本実施形態では、下流ビームモニタ監視制御装置 8b2 が X 軸方向のビーム形状および Y 軸方向のビーム形状のそれぞれを求める構成としたが、これに限定されない。他には、第 1 の積算パルス取込装置が X 電極からの検出信号に基づいて X 電極を通過した荷電粒子ビームの X 軸方向のビーム形状を求め、第 2 の積算パルス取込装置が Y 電極からの検出信号に基づいて Y 電極を通過した荷電粒子ビームの Y 軸方向のビーム形状を求める構成とし

ても良い。

この場合、下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 は、第 1 の積算パルス取込装置からの X 軸方向のビーム形状の情報および第 2 の積算パルス取込装置からの Y 軸方向のビーム形状の情報に基づいて、X - Y 平面でのビーム形状を求める。

【 0 0 4 5 】

次に、図 5 乃至図 1 4 を用いて、本実施形態の下流ビームモニタシステムを用いたビーム位置およびビーム幅の測定方法について説明する。

図 5 は本発明のビームモニタシステムの第 1 の実施形態におけるチャンネルのグループ化処理接続の一例を示す概略図、図 6 は本発明のビームモニタシステムの第 1 の実施形態における置換接続の一例を示す概略図、図 7 は本発明のビームモニタシステムの第 1 の実施形態における置換接続の一例を示す概略図、図 8 は本発明のビームモニタシステムの第 1 の実施形態におけるチャンネルグループ化モニタシステムの概略図、図 9 は本発明のビームモニタシステムの第 1 の実施形態における置換接続の一例を示す概略図、図 1 0 は本発明のビームモニタシステムの第 1 の実施形態における置換接続の一例を示す概略図、図 1 1 は本発明のビームモニタシステムの第 1 の実施形態におけるチャンネルグループ化モニタシステムの概略図、図 1 2 は本発明のビームモニタシステムの第 1 の実施形態におけるチャンネルグループ化モニタシステムの正常時における出力分布を示す図、図 1 3 は本発明のビームモニタシステムの第 1 の実施形態におけるチャンネルグループ化モニタシステムの異常時における出力分布を示す図、図 1 4 は本発明のビームモニタシステムの第 1 の実施形態におけるチャンネルグループ化モニタシステムの異常時における照射位置特定

【 0 0 4 6 】

本実施形態の下流ビームモニタ 1 1 d は、図 3 に示すように、X 電極および電流・周波数変換器 2 3 を有する X 軸ビームモニタ 1 1 d 1 と、Y 電極および電流・周波数変換器 2 3 を有する Y 軸ビームモニタ 1 1 d 2 とを備える。X 軸ビームモニタ 1 1 d 1 から信号処理装置 2 2 の間の構成は、Y 軸ビームモニタ 1 1 d 2 の場合と同様の構成であるため、ここでは X 軸ビームモニタ 1 1 d 1 を例に説明する。X 軸ビームモニタ 1 1 d 1 は、例えば、7 6 8 本のワイヤ電極 (X 電極) が等間隔に張られた構成であり、7 6 8 チャンネルを有する構成とする。

【 0 0 4 7 】

図 5 に示すように、全チャンネルを隣り合う 3 2 チャンネル (c h) 毎に区分 1 ~ 区分 2 4 まで 2 4 区分に分割する。すなわち、X 軸ビームモニタ 1 1 d 1 は、隣り合う複数のワイヤ電極 (本実施形態では、3 2 チャンネルのワイヤ電極) を一つの区分とした、複数の区分 (本実施形態では、2 4 の区分) で構成される。このように一つの区分は、隣り合う複数のワイヤ電極で構成される。

X 軸ビームモニタ 1 1 d 1 を構成するワイヤ電極を、設置位置に関する物理的な並びで、端から順番にチャンネル 1 , 2 , 3 , 4 . . . 7 6 8 と示した場合、区分 1 がチャンネル 1 ~ 3 2 、区分 2 がチャンネル 3 3 ~ 6 4 、区分 2 3 がチャンネル 7 0 5 ~ 7 3 6 、区分 2 4 がチャンネル 7 3 7 ~ 7 6 8 である。

また、本実施形態では、隣り合う 4 つの区分を一つのグループとする。すなわち、区分 1 ~ 4 をグループ 1 、区分 5 ~ 8 をグループ 2 、区分 9 ~ 1 2 をグループ 3 、区分 1 3 ~ 1 6 をグループ 4 、区分 1 7 ~ 2 0 をグループ 5 、区分 2 1 ~ 2 4 をグループ 6 とする。ここで、一つのグループを構成する複数のワイヤ電極の端から端までの幅が、照射予定の荷電粒子ビームのビーム幅よりも大きくなるように一つのグループを構成し、ビーム位置およびビーム幅の計算に必要なビーム分布は (1 グループ内の区分数 - 1) 区分内に現れるものとする。

【 0 0 4 8 】

図 5 において、グループ 1 に属する区分 1 乃至区分 4 の各チャンネル (1 c h ~ 1 2 8 c h) は電流・周波数変換器 2 3 に接続される。信号処理装置 2 2 は、電流・周波数変換器 2 3 と同数のパルスカウンタを有しており、下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 内の

積算パルス取込装置に接続されている。信号処理装置 22 は、X 軸ビームモニタ 11d1 の 1 つのグループに属するワイヤ電極の数（本実施形態では 128 個）と、Y 軸ビームモニタ 11d2 の 1 つのグループに属するワイヤ電極の数（本実施形態で 128 個）とを足し合わせた数（本実施形態では 256 個）のパルスカウンタを有する。信号処理装置 22 は、X 軸ビームモニタ 11d1 を構成する各々のグループから選択された一つのワイヤ電極から出力される検出信号を同一の配線から電流・周波数変換器 23 の 1 つの入力点へ入力するように、グループに属するワイヤ電極と同数の配線によって接続される。このように、電流・周波数変換器 23 およびモニタ信号処理装置 22 はグループ 1 の全信号（128ch×2）を処理演算できるものであればよい。

【0049】

10

本実施形態の接続の方式を説明すると、図 5 に示すように、ある区分に属する各々のワイヤ電極は、他のグループに属する区分のいずれか一つのワイヤ電極とそれぞれ同一の配線によって電流・周波数変換器 23 を介して信号処理装置 22 に接続される。

例えば、グループ 2 に属する区分 5 の 129ch～160ch を構成するそれぞれのワイヤ電極は、区分 1 の 1ch～32ch を構成するワイヤ電極のいずれか一つに接続される。グループ 3 に属する区分 9 の 257ch～288ch を構成するそれぞれのワイヤ電極は、区分 1 の 1ch～32ch を構成するワイヤ電極のいずれか一つに接続される。グループ 4 に属する区分 13 を構成するそれぞれのワイヤ電極は、区分 1 の 1ch～32ch を構成するワイヤ電極のいずれか一つに接続される。グループ 5 に属する区分 17 の 513ch～544ch を構成するそれぞれのワイヤ電極は、区分 1 の 1ch～32ch を構成するワイヤ電極のいずれか一つに接続される。グループ 6 に属する区分 21 の 641ch～672ch を構成するそれぞれのワイヤ電極は、区分 1 の 1ch～32ch を構成するワイヤ電極のいずれか一つに接続される。

20

上記と同様に、グループ 1 の区分 2, 3, 4 を構成するワイヤ電極とは、グループ 2 の区分 6, 7, 8 を構成するワイヤ電極、グループ 3 の区分 10, 11, 12 を構成するワイヤ電極、グループ 4 の区分 14, 15, 16 を構成するワイヤ電極、グループ 5 の区分 18, 19, 20 を構成するワイヤ電極、グループ 6 の区分 22, 23, 24 を構成するワイヤ電極が各々接続される。

【0050】

このように、複数グループのワイヤ電極同士を接続することで、グループ内のワイヤ電極 1 点がグループ数分同じ電流・周波数変換器 23 に接続される構成となる。

30

【0051】

また、このように、グループ間の接続方法を、区分同士では、区分の物理的並びの順に（グループ 2 の区分 5 とグループ 3 の区分 9 と、... とグループ 6 の区分 22 がグループ 1 の区分 1 に接続されるように）接続する構成をとることと、ビーム分布を（1 グループ内の区分数 - 1）区分内に収めることで、複数グループにわたるビーム照射の場合の電流・周波数変換器 23 に入力される計測データの重なり合いを防止できる。

この際、区分内のワイヤ電極の接続方法は、区分内の物理的並びのままとせず、グループ固有の並びとしてワイヤ電極同士を接続することで、ワイヤ電極で計測されるビームの分布形状を電流・周波数変換器 23 の入力でグループ固有の分布形状にできる。これにより、分布形状から、どのワイヤ電極のグループへのビーム照射が行われたかを判断できる。以下に、この接続方法の詳細を示す。

40

【0052】

また、区分 5 の 129ch～160ch は区分 1 の 1ch～32ch に接続されるが、この時、図 5 に示すように、区分 5 の各チャンネルは置換接続 P1 で接続先を置換して接続される。また、同じグループ 2 に属する区分 6, 7, 8 の各チャンネルも同様に置換接続 P1 で区分 2, 3, 4 の各チャンネルへ接続される。

グループ 3 の区分 9 は置換接続 P1 と異なる置換接続 P2 で、区分 1 の各チャンネルへ、同様に区分 10, 11, 12 の各チャンネルも置換接続 P2 で区分 2, 3, 4 の各チャンネルへ接続する。

50

グループ4の区分13, 14, 15, 16はP1およびP2と異なる置換接続P3によりそれぞれ区分1, 2, 3, 4へ、グループ5の区分17, 18, 19, 20はP1、P2およびP3と異なる置換接続P4でそれぞれ区分1, 2, 3, 4へ、グループ6の区分21, 22, 23, 24はP1、P2、P3およびP4と異なる置換接続P5でそれぞれ区分1, 2, 3, 4へ接続される。

このように、グループ毎に異なる置換接続によって、ある区分に属するワイヤ電極と他のグループの区分に属するワイヤ電極とを接続する。

【0053】

次に置換接続P1～P5の中身の一例を図6乃至図10を用いて説明する。以下、1区分に32chが含まれ、1区間を4chとして置換接続を適用する場合の例を示す。

10

【0054】

まず、図6に示すように、1区分を複数の区間に分割して（例えば区分1を分割区間1～8、以下区分2～24に対しても同様に区間1～8に分割する）、その区間を単位として、区間を入れ替える置換を行う。

例えば、置換接続P1は区間1と3、2と5、4と7、6と8を入れ替えた置換である。P2は1と4、2と7、3と5、6と8を入れ替え、P3は1と5、2と4、3と7、6と8を入れ替え、P4は1と7、2と6、3と5、4と8を入れ替え、P5は1と5、2と7、3と8、4と6を入れ替えた置換である。

【0055】

更に、本実施形態では、図7乃至図10に示すように、計測位置での区分区間構成に対して、1区間内のチャンネルを若い方から(1)～(4)と番号をつける。

20

【0056】

まず、グループ1に対しては、図7のグループ1の接続構成に示すように、置換接続を実施せず、計測点のチャンネルの並びと同じとする。

【0057】

ここで、図8に示すように、ビーム幅が7ch程度の細いビームの場合を考えると、足切りにより、計算の際にはガウス分布の両端の出力値の低い部分が無視され、計測位置幅に必要とされるビーム計測チャンネル数が1区間(4ch)内に収まる場合が考えられる。この場合には、ビームが照射されるグループとは異なる計測点グループの逆置換を実施してもビーム形状が崩れないため、電流・周波数変換器23、信号処理装置22を介し、下流ビームモニタ監視制御装置8b2に入力される分布形状を元に、どのグループへのビーム照射が行われたかを判断することが難しくなる。これを防ぐため、区間ごとの入替えだけでなく、区間内のチャンネルに対しても置換を行う必要がある。また、ガウスフィッティングも最小3chで計算できることも考慮すると、3chの出力値が離れた点になる、従って少なくとも2chが連続とならなければよいことになる。

30

【0058】

このように、少なくとも2chが置換前後の配置で異なればよいので、図9のグループ2の場合に示すように4chで区間に分ける際に、ch(1)、(2)、(3)、(4)のそれぞれの点に別々の(循環)置換を行う。

【0059】

40

具体的には、グループ2の区分5～8に対しては、図9に示すように、計測点にて番号付けした(1)～(4)に関して、奇数の番号に対しては置換を実施せず計測点のチャンネルの並びと同じとし、偶数の番号に対してはそれぞれの区間の同じ番号のチャンネルを同一区分内で循環的に入れ替えるような置換接続を適用する。

すなわち、(2)に対しては1区間隣の区間と循環的に入れ替える((2)の位置のデータを循環的に1区間分ずらす)接続構成とし、(4)に対しては3区間分隣の区間と循環的に入れ替えを行う((4)の位置のデータを循環的に3区間分ずらす)接続構成を適用している。これにより、置換前後のチャンネルの並びの関係が(1)固定、(2)1区間隣、(3)固定、(4)3区間隣となっている。

【0060】

50

グループ 3 やグループ 4 などの他のグループにも、グループ 2 に適用したようなワイヤ接続をグループ毎にそれぞれ独立となるような（循環）置換を適用する。

例えば、図 10 に示すように、グループ 3 の区分 9 - 12 は、（１）固定、（２）２区間隣、（３）固定、（４）４区間隣となるよう（循環）置換を適用する。グループ 4 の区分 13 - 16 は、（１）固定、（２）３区間隣、（３）固定、（４）５区間隣となるよう（循環）置換を適用する。グループ 5 の区分 17 - 20 は、（１）固定、（２）４区間隣、（３）固定、（４）６区間隣となるよう（循環）置換を適用する。グループ 6 の区分 21 - 24 は、（１）固定、（２）５区間隣、（３）固定、（４）７区間隣となるよう（循環）置換を適用する。

これにより、区間内の連続する４つの計測チャンネルのうち隣り合う２つのチャンネルが物理的に連続しないように電流・周波数変換器 23 のチャンネルにワイヤ電極が接続されている。

【 0 0 6 1 】

なお、図 9 および図 10 においては、（２），（４）の右下付きの数字が（循環）置換前の区間番号に相当する。

【 0 0 6 2 】

次に、本実施形態での動作について説明する。

【 0 0 6 3 】

信号処理装置 22 は、ワイヤ電極から検出信号を受け取ると、入力された検出信号がいずれのグループに属するワイヤ電極の検出信号であるかを示すグループ情報を求める。また、信号処理装置 22 は、検出信号を置換接続の情報に基づいて並び替えて（逆置換して）、ワイヤ電極を通過した荷電粒子ビームのビーム形状を求める。信号処理装置 22 は、求めたグループ情報およびビーム形状の情報を含む処理信号を下流ビームモニタ監視制御装置 8b2 の積算パルス取り込み装置 8b2 - 1 を介して CPU 8b2 - 2 に送信する。なお、信号処理装置 22 に備えられた記憶装置が、受信した検出信号を記憶し、記憶された検出信号を処理して処理信号を送信するようにしても良い。下流ビームモニタ監視制御装置 8b2 は、受信したビーム形状の情報およびグループ情報に基づいて、ワイヤ電極を通過した荷電粒子ビームのビーム位置およびビーム幅を求める。下流ビームモニタ監視制御装置 8b2 は、求めたビーム位置およびビーム幅を操作端末 40 に備えられた表示画面に表示させる。

【 0 0 6 4 】

まず、図 11 において、正常時 50a のように治療計画装置 6 で定めた目標通りにビーム照射できた場合を考える。

【 0 0 6 5 】

区分 19 にビームが照射されたとする。この場合、区分 19 で検出される値は置換接続 P4 で置換されてから区分 3 に接続され、電流・周波数変換器 23 に送られる。この時の出力は、図 12 に示すように、出力分布（正常時）51a のように P4 による置換の影響でガウス分布が得られない。なお、図 12 では、理解しやすさのため、区間内の循環置換については既に逆変換した後の例を示している。

しかし、ビームをどこに照射するかは予め治療計画装置 6 により定められている。このため、治療計画装置 6 で作成された治療計画データに基づき、実照射ビームが、P1 ~ P5 のどの置換接続を実施されたかも予測することができる。

【 0 0 6 6 】

本実施形態では、区分 19 を計画目標位置としているため、P4 によって置換されたことが予測できる。従って、モニタ信号処理装置 22 で P4 の逆置換を行うことで逆置換分布（正常時）52a のようにガウス分布が得られる。ガウス分布が得られることで実際の照射位置と計画データでの照射位置が一致していることが明確になり、ビーム位置およびビーム幅を正確に求めることができる。また、電流・周波数変換器 23 およびモニタ信号処理装置 22 は 1 グループ内のチャンネル分しか必要としないため、低コストのモニタシステムを実現できる。

【 0 0 6 7 】

次に、図 1 1 の異常時 5 0 b に示すように、実際のビーム照射が治療計画に基づく目標照射位置と異なる場合を考える。

例えば、目標照射位置が区分 1 9 であるのに対し、実際のビーム照射位置が区分 7 となった場合について考える。

【 0 0 6 8 】

このような場合、図 1 3 に示すように、区分 7 で検出された値は P 1 により置換された後に電流・周波数変換器 2 3 に送られ、出力分布（異常時）5 1 b が得られる。しかし、治療計画に基づく目標照射位置は区分 1 9 であるため、出力に対してモニタ信号処理装置 2 2 では P 4 の逆置換が行われ、その結果得られる分布は逆置換出力分布（異常時）5 2 b となり、ガウス分布を得ることはできない。

10

【 0 0 6 9 】

この場合は、下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 は、ビームのエラー（位置、幅の異常状態または演算不可能）を示すエラー信号を中央制御装置 5 に出力する。エラー信号を受信した中央制御装置 5 は、加速器・輸送系制御システム 7 にビーム停止信号を出力し、円形加速器 1 6 から出射する荷電粒子ビームを停止させる。

【 0 0 7 0 】

また、下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 は、照射位置特定処理 6 0 を実施する。これにより、荷電粒子ビームを異常照射した位置を特定する。

照射位置特定処理 6 0 として、例えば、図 1 4 に示すように、異常照射が起こった出力分布に対し、P 1 の逆置換、P 2 の逆置換、...と順次逆置換を実施し、ガウス分布が得られる置換接続を特定する。これにより、どのチャンネルに異常照射したかを正確に知ることができる。本実施形態の場合は P 1 の逆置換でガウス分布が得られるため、グループ 2 の特定のチャンネルに異常照射したことが明確になる。

20

【 0 0 7 1 】

また、ビーム幅が変化した場合には、ある範囲の任意のビーム幅に対して置換接続を考えたシミュレーションを行い、その結果と実照射分布とを比較することでビーム位置およびビーム幅の特定が可能である。

このシミュレーションとは、計算機上で実際のビームモニタシステム中のセンサ部からパルス発生器入力前までを模擬し、異常照射時の実照射分布をガウス分布と想定して、ビーム位置、ビーム幅をある値からある値まで一定の間隔でそれぞれ変化させた入力を与え、ビーム位置から決まる置換接続が適用されたそれぞれの計算機出力結果と実照射の信号処理装置 2 2、もしくは下流ビームモニタ制御装置に入力される分布を比較し一致するものを求め、異常照射時のビーム位置、ビーム幅を求めるものである。

30

【 0 0 7 2 】

本実施形態では、理解しやすいようグループ内にビームが収まる場合を説明してきたが、その他に複数のグループを含む位置への照射の場合が考えられる。この場合においても、区分ごとに区分の属するグループの置換が実施されるため、区分単位でそれぞれの区分が属するグループの置換情報を元に逆置換を実施することで、複数グループを含む位置でのビーム分布であっても、正確なビームの位置、幅の特定、およびビーム位置幅の正常、異常の判断が可能である。

40

【 0 0 7 3 】

本実施形態のビームモニタシステムを備える粒子線照射システムは、ワイヤをグループ化し、グループ毎に異なる接続方法を実施したシンプルな構成のマルチワイヤ形モニタのビームモニタシステムにおいて、荷電粒子ビームの位置およびビーム幅の算出に利用するチャンネルを限定している。このため、全チャンネルに対応した増幅器および信号処理装置を準備する必要がない。

本実施形態のビームモニタシステムと、従来のビームモニタシステムを比較する。

【 0 0 7 4 】

従来のビームモニタシステムの場合、X 軸ビームモニタが 7 6 8 本のワイヤ電極で構成

50

される場合、その後段に配置されるパルス発生器およびパルスカウンタは、ワイヤ電極の数（チャンネル数）と同数の 768 個ずつそれぞれ設置される。Y 軸ビームモニタが 768 本のワイヤ電極で構成される場合、同様に、その後段に配置されるパルス発生器およびパルスカウンタはそれぞれ 768 個ずつ設置される。このため、従来のモニタシステムは、768 個のパルス発生器および 768 個のパルスカウンタを有する。

【0075】

このような従来のモニタシステムに対し、本実施形態のビームモニタシステムの場合、X 軸ビームモニタが 768 本のワイヤ電極で構成される場合であっても、ワイヤ電極の数（チャンネル数）よりも十分少ない数である、128 個のパルス発生器および 128 個のパルスカウンタを備える構成によって、荷電粒子ビームのビーム位置およびビーム幅を求

10

【0076】

また、本実施形態のビームモニタシステムは、電荷収集電極が隣り合う複数のワイヤ電極を一つのグループとした複数のグループで構成される。また、グループの各々から選択された一つのワイヤ電極から出力される検出信号を同一の配線から入力するように、グループに属するワイヤ電極と同数の配線によって全てのワイヤ電極と、あるまとまった連続する計測チャンネルに対して、2チャンネルは物理的に連続しないように信号処理装置のチャンネルに接続する。さらに、信号処理装置 22 は、入力された検出信号がいずれのグループに属するワイヤ電極の検出信号であるかを示すグループ情報を求め、グループ情報を含む処理信号をビームモニタ制御装置に出力し、ビームモニタ制御装置においてワイヤ電極を通過した荷電粒子ビームの位置およびビーム幅を求める構成を有する。

20

そのため、シンプルな構成でモニタシステムを構築することができる。また、本実施形態によれば、ワイヤの接続方法をグループ毎に変更することで照射位置を正確に知ることができ、信頼性の高いモニタシステムを実現できる。

また、単純に区間を入れ替える置換を行うと、位置幅計算に必要とされるチャンネル数が区間に収まるビーム幅の狭いビームが照射される場合に、分布形状が置換接続の有無、種類に関わらず変化しないために、計測位置でのビームの分布形状が置換接続後の電流・周波数変換器 23 でのビームの分布形状と一致して、誤照射ビームを検出できない可能性がある。しかし、本実施形態の置換接続の構成によれば、ビームの分布が最低限確認できる 3ch 程度の細いビームであっても、あるまとまった連続する計測チャンネルに対して、2チャンネルは物理的に連続しないように信号処理装置のチャンネルにワイヤ接続されていることによって計測位置でのビームの分布形状が置換接続によって崩れる。このため、計測位置でのビームの分布を信号処理装置 22 でグループ毎に必ず変化させることができ、位置幅計算にずれが生じ、誤った位置への照射を正確に検出することができる。

30

【0077】

これにより、本実施形態のモニタシステムは患者に対する照射線量・照射位置を正確に管理することが可能となる。

【0078】

本実施形態のビームモニタシステムを備える粒子線照射システムは、特に、細い荷電粒子ビームを走査して照射する方式に対して有効である。すなわち、精度のよい照射を行うためには細径ビームが必要になり、ビームプロファイルを計測するマルチワイヤ形モニタの単位長さあたりのワイヤ数が増加する方向となるが、荷電粒子ビームが同時に照射されるワイヤは全ワイヤのごく一部である。本実施形態のビームモニタシステムは、荷電粒子ビームが同時に照射される範囲に相当する数のワイヤ信号だけに信号処理を行う方式として、照射範囲に相当する数のワイヤに、その他のワイヤを接続する構成であるため、低コストかつ高い信頼性を実現できる。

40

【0079】

本実施形態のビームモニタシステムを備える粒子線照射システムは、ワイヤ電極の接続方法をグループ毎に変更するため、照射位置を正確に知ることができ、信頼性の高いモニタシステムを実現することができる。

50

【 0 0 8 0 】

< 第 2 の実施形態 >

本発明のビームモニタシステムおよび粒子線照射システムの第 2 の実施形態を図 1 5 および図 1 6 を用いて説明する。

図 1 5 は本発明のビームモニタシステムの第 2 の実施形態におけるフィッティング関数と実測値の分布の一例を示す図、図 1 6 は本発明のビームモニタシステムの第 2 の実施形態におけるフィッティング関数と実測値の分布の他の例を示す図である。

【 0 0 8 1 】

第 2 の実施形態に係るビームモニタシステムは、上流ビームモニタ監視制御装置 8 b 1 または下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 において、適切な照射であると判断する条件として、ビーム位置、ビーム幅の算出結果が許容値以下になる条件に加え、計測結果の分布から求められるフィッティング関数と実測値とのチャンネル毎の差分の二乗和の平均値（分散値）が許容値以下になる場合に適切な照射であると判断する条件を適用する。

上記上流ビームモニタ監視制御装置 8 b 1 または下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 における判断条件以外の構成は第 1 の実施形態のビームモニタシステムおよび粒子線照射システムと略同じであるため、詳細は省略する。

【 0 0 8 2 】

次に、本実施形態での動作について、第 1 の実施形態と同様に、下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 を用いて説明する。

【 0 0 8 3 】

信号処理装置 2 2 は、ワイヤ電極から検出信号を受け取ると、入力された検出信号がいずれのグループに属するワイヤ電極の検出信号であるかを示すグループ情報を求める。また、信号処理装置 2 2 は、検出信号を置換接続の情報に基づいて並び替えて、ワイヤ電極を通過した荷電粒子ビームのビーム形状を求める。第 1 の実施形態のように、下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 で本処理を実施する構成としてもよいものとする。

【 0 0 8 4 】

下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 は、受信したビーム形状の情報に基づいて、ワイヤ電極を通過した荷電粒子ビームのビーム幅を求める。また、下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 は、受信したビーム形状の情報およびグループ情報に基づいて、ワイヤ電極を通過した荷電粒子ビームのビーム位置を求める。

【 0 0 8 5 】

更に、下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 は、位置幅計算時に、フィッティング関数と実測値との差分の二乗和の平均値（分散値）を演算する。

分散値²は、ビーム位置幅計算に用いるチャンネル数を n 、計測チャンネルを x としてフィッティング関数を $f(x)$ 、実測値を $M(x)$ と表すと、次式（1）

【数 1】

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{x=1}^n (f(x) - M(x))^2$$

によって計算する。

【 0 0 8 6 】

その上で、分散値²がある値（許容値）以下（² Const.（Const. はある一定値を表す））のときは正常なビーム位置での照射であると判定し、分散値²が許容値より大きいときは正常でないビーム位置での照射であると判定する。下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 は、ビームのエラーを示すエラー信号を中央制御装置 5 に出力す

る。

【0087】

具体的には、図15に示すように、正常なビーム位置での逆置換後の計算の場合、計算処理部にて逆置換を実施した後の実測値111aは、フィッティング関数112a上もしくは近傍に実測値が現れる。

この場合は、フィッティング関数112aと実測値111aとの差分は非常に小さくなり、分散値も許容値以下となる。そのため、下流ビームモニタ監視制御装置8b2は正常なビーム位置での照射であると判定し、下流ビームモニタ監視制御装置8b2は、求めたビーム位置およびビーム幅を操作端末40に備えられた表示画面に表示させ、荷電粒子ビームのビーム位置およびビーム幅を表示する。

10

【0088】

これに対し、図16に示すように、誤ったビーム位置での逆置換後の計算では、実測値の分布がばらけるにも関わらず、フィッティング関数112bが正常なビームを表す関数に非常に類似する場合がある。

この場合は、フィッティング関数112bからの実測値111bのずれが大きくなるため、分散値は許容値より大きくなる。そのため、下流ビームモニタ監視制御装置8b2は正常なビーム位置での照射でないと判定し、ビームのエラーを示すエラー信号を中央制御装置5に出力する。また、下流ビームモニタ監視制御装置8b2は、照射位置特定処理60を実施する。

【0089】

20

本発明のビームモニタシステムおよび粒子線照射システムの第2の実施形態においても、前述したビームモニタシステムおよび粒子線照射システムの第1の実施形態とほぼ同様な効果が得られる。

すなわち、シンプルな構成でモニタシステムを構築することができ、低コストかつ信頼性の高いモニタシステムを実現することができる。

【0090】

また、第1の実施形態で説明したような区分内を数チャンネル単位で全体的に入れ替えるような置換を実施した場合で、信号処理部の分布形状を見ることで誤照射の検出は容易に可能である。しかし、ビーム位置幅の計算上で分布のフィッティング処理を行っているため、全体的にチャンネルを入れ替える置換を実施した分布において、フィッティングの仕方によっては誤ったビーム位置に対するフィッティング関数であっても正しいビーム位置に対するフィッティング関数に近いものとして求められる可能性がある。

30

これに対し、位置および幅の算出結果が許容値以下であるかの判断条件に加えて、分布から求められるフィッティング関数と実測値とのチャンネル毎の差分の分散値が許容値以下の場合に適切な照射であると判断する条件を加えることにより、実測値と計算に使用するフィッティング関数とのずれを評価し、適切なビーム位置であるかどうかをより正確に判断することができ、計算上で誤照射を正確に検出するモニタシステムを実現することができる。

【0091】

なお、上述の実施形態では、信号処理装置22における適切な照射であると判断する条件として分散値を判断の条件の基準として誤照射検出を行ったが、判断条件はこれに限られず、それぞれのチャンネルに対するフィッティング関数と実測値との差分を判断の条件の基準とすることができる。

40

【0092】

<第3の実施形態>

本発明のビームモニタシステムおよび粒子線照射システムの第3の実施形態を図17を用いて説明する。

図17はラスタースキャン方式による荷電粒子ビーム照射の制御のフローチャート図である。

【0093】

50

第1の実施形態はスポットスキニング照射法におけるビーム位置およびビーム幅を監視するビームモニタシステムを備える粒子線照射システムであるのに対し、本実施形態の粒子線照射システムはラスタースキニング照射法におけるビーム位置およびビーム幅を監視するビームモニタシステムを備える。

本実施形態の粒子線照射システムは、患者13の患部をビーム進行方向に複数のレイヤーに分割し、各レイヤーにおいて荷電粒子ビームの照射を継続したまま（ビームONのまま）、荷電粒子ビームを走査するラスタースキニング照射法におけるビーム位置およびビーム幅を監視するビームモニタシステムを備える。

【0094】

以下、本実施形態の粒子線照射システムについて、図17を参照して、第1の実施形態と異なる構成、動作を説明する。

【0095】

治療の準備が完了すると、医師は操作端末40の入力装置から治療開始信号を入力する。

治療開始信号を入力した中央制御装置5は、加速器・輸送系制御システム7に指令信号を送信する。

加速器・輸送系制御システム7は、最初に照射するレイヤー（最初に照射するビームエネルギー情報）に相当する運転パラメータを円形加速器16およびビーム輸送系2に設定する。円形加速器16およびビーム輸送系2の運転パラメータが設定されて準備完了すると（ステップS30）、走査電磁石電源制御装置8cは励磁電流パラメータに基づいて走査電磁石11bを励磁する（ステップS31A）。最初の照射位置に対応する励磁電流が走査電磁石11bに励磁された後、モニタ監視制御装置8bの線量監視制御装置8b3が、当該スポット位置に対する目標線量値に基づいてビーム線量の監視を開始し（ステップS32A）、照射準備が完了する。

【0096】

中央制御装置5がビーム出射開始指令を送信すると（ステップS33）、加速器・輸送系制御システム7はイオン源を起動し、荷電粒子（陽子または重粒子）を生成する。前段加速器15は、イオン源からの荷電粒子を加速し、円形加速器16に出射する。円形加速器16は、荷電粒子ビームを更に加速する。周回する荷電粒子ビームは目標エネルギーまで加速され、円形加速器16からビーム輸送系2に出射される。荷電粒子ビームは、ビーム輸送系2を経てスキニング照射装置3に到達する。さらに、荷電粒子ビームは、照射ノズル11内をビーム軸に沿って進行し、上流ビームモニタ11a、走査電磁石11b、線量モニタ11cおよび下流ビームモニタ11dを通過する。照射ノズル11から出射された荷電粒子ビームが患者13の患部に照射される。

【0097】

線量監視制御装置8b3は、線量モニタ11cで計測した計測データを受け取って演算処理して当該照射位置に対する照射線量を求めるとともに、最初の照射位置に対する照射線量値が目標線量値に達するまで荷電粒子ビームの照射を続ける。線量監視制御装置8b3は、照射線量値が目標線量値に達したと判断すると、中央制御装置5に対して照射満了信号を出力する（ステップS34）。

【0098】

上流ビームモニタ11aで検出した第1検出データを上流ビームモニタ監視制御装置8b1で取り込み、下流ビームモニタ11dで検出した第2検出データを下流ビームモニタ監視制御装置8b2で取り込み、照射された荷電粒子ビームの位置およびビーム幅を求める（ステップS35A）。演算処理が終了し、ビームの位置およびビーム幅に異常がなければ（ビーム位置が許容ビーム位置の範囲内であり、ビーム幅が許容ビーム幅の範囲内と判断されれば）、照射満了した照射位置がレイヤー内での最後の照射位置であるか否かを判定する。最後の照射位置でないと判断された場合（Noの場合）、走査電磁石電源制御装置8cが励磁電流パラメータに基づいてスポット走査電磁石の設定を行い（ステップS35B）、モニタ監視制御装置8bがスポット線量目標値設定を行う（ステップS35C

10

20

30

40

50

）。

ステップ S 3 4 に戻り、照射満了した照射スポットがレイヤー内での最後のスポット位置であると判断されるまで（Y e s と判断されるまで）、線量満了の判断ステップ S 3 4 から最後のスポットであるか否かの判定までの制御フロー 3 7 A を繰り返し行う。

【 0 0 9 9 】

レイヤー内の全てのスポットへの照射が完了すると、中央制御装置 5 は、照射完了したレイヤーが患者 1 3 に対する最後のレイヤーであるか否かを判断する（ステップ S 3 6 A）。最後のレイヤーでない場合（N o の場合）、中央制御装置 5 は加速器・輸送系制御システム 7 に指令信号を送信する。加速器・輸送系制御システム 7 は、次に照射するレイヤーに相当する運転パラメータを円形加速器 1 6 およびビーム輸送系 2 に設定し、次の運転準備を開始する（ステップ S 3 0 ）。

10

【 0 1 0 0 】

この制御フロー 3 8 A を全てのレイヤーが照射完了するまで繰り返す。全てのスポットおよび全てのレイヤーの照射が完了すると治療終了 3 9 となる。

【 0 1 0 1 】

上述のフローにおいて、上流ビームモニタ監視制御装置 8 b 1 および下流ビームモニタ監視制御装置 8 b 2 は、第 1 の実施形態と同様の処理を実施する。

【 0 1 0 2 】

このように、本実施形態の粒子線照射システムは、荷電粒子ビームを出射させた状態で照射位置を変更して、患部に対してビーム照射するラスタースキャンニング照射法を実現する。

20

【 0 1 0 3 】

本発明のビームモニタシステムおよび粒子線照射システムの第 3 の実施形態においても、前述したビームモニタシステムおよび粒子線照射システムの第 1 の実施形態とほぼ同様な効果が得られる。

すなわち、シンプルな構成でモニタシステムを構築することができ、低コストかつ信頼性の高いモニタシステムを実現することができる。

【 0 1 0 4 】

なお、本実施形態の粒子線照射システムは、第 2 の実施形態のビーム位置およびビーム幅を監視するビームモニタシステムを備える粒子線照射システムにも適用することができる。

30

【 0 1 0 5 】

< その他 >

なお、本発明は上記の実施形態に限られず、種々の変形、応用が可能なものである。

【 0 1 0 6 】

例えば、モニタのチャンネル、区分、およびグループは任意の数で構成することができる。置換接続は、区間内のチャンネルに対して、奇数の場合は置換接続無し、偶数の場合はチャンネルごとに（循環）置換接続を実施するものとしたが、あるまとまった連続する計測チャンネルに対して、2チャンネルは物理的に連続しないように信号処理部のチャンネルにワイヤ接続される任意の接続方法で実施することができる。

40

【 0 1 0 7 】

また、上述の実施形態は本発明を分かり易く説明する為に詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定したわけではない。

例えば、実施形態において、信号処理装置は電流・周波数変換器およびパルスカウンタを含むデジタルモニタ信号処理装置で構成されているが、電荷を積分し、電圧に変換して出力する回路や電流を電圧に変換し出力するアナログモニタ信号処理装置によって構成されてもよい。

また、モニタのチャンネル、区分、およびグループは任意の数で構成することができ、グループ内の置換接続は同一でなくてもよい。

また、置換接続は 1 区分を複数区間に分割した後、区間同士の入れ替えによる置換を行

50

ったが、それに限らず任意の置換方法で実施することができる。

【 0 1 0 8 】

さらに、信号処理装置とビームモニタ制御装置とを別個の装置に搭載されている場合を例示したが、同一装置内に搭載されていてもよい。

【 符号の説明 】

【 0 1 0 9 】

- 1 ... 荷電粒子ビーム発生装置、
- 2 ... ビーム輸送系、
- 3 ... スキャニング照射装置、
- 4 ... 制御システム、
- 5 ... 中央制御装置、
- 6 ... 治療計画装置、
- 7 ... 加速器制御システム、
- 8 ... 照射制御システム、
- 8 a ... 患者機器制御装置、
- 8 a 1 ... 回転ガントリ制御装置、
- 8 a 2 ... 治療台制御装置、
- 8 a 3 ... ノズル内機器制御装置、
- 8 b ... モニタ監視制御装置、
- 8 b 1 ... 上流ビームモニタ監視制御装置、
- 8 b 2 ... 下流ビームモニタ監視制御装置、
- 8 b 2 - 1 ... 積算パルス取込装置、
- 8 b 2 - 2 ... C P U、
- 8 b 3 ... 線量監視制御装置、
- 8 c ... 走査電磁石電源制御装置、
- 1 0 ... 治療台、
- 1 1 ... 照射ノズル、
- 1 1 a ... 上流ビームモニタ、
- 1 1 b ... 走査電磁石、
- 1 1 c ... 線量モニタ、
- 1 1 d ... 下流ビームモニタ、
- 1 1 d 1 ... 下流ビームモニタ（ X 軸方向）、
- 1 1 d 2 ... 下流ビームモニタ（ Y 軸方向）、
- 1 2 ... 荷電粒子ビーム、
- 1 3 ... 患者・患部、
- 1 4 ... 回転ガントリ、
- 1 5 ... 前段加速器、
- 1 6 ... 円形加速器
- 2 1 ... ワイヤ電極で計測された計測分布、
- 2 2 ... モニタ信号処理装置（デジタル信号処理）、
- 2 3 ... 電流・周波数変換器、
- 4 0 ... 操作端末、
- 5 0 a ... 正常時分布、
- 5 0 b ... 異常時分布、
- 5 1 a ... 出力分布（正常時）、
- 5 2 a ... 逆置換出力分布（正常時）、
- 5 1 b ... 出力分布（異常時）、
- 5 2 b ... 逆置換出力分布（異常時）、
- 6 0 ... 照射位置特定処理、
- 1 1 1 a ... 第 2 の実施形態における正しいビーム位置の場合の実測値、

10

20

30

40

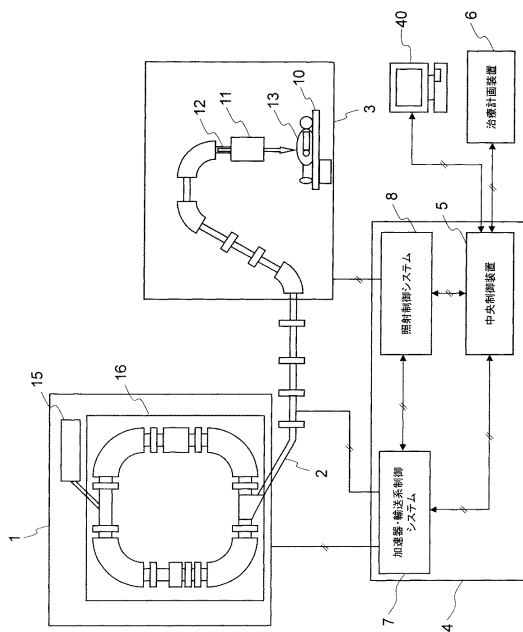
50

- 1 1 1 b ... 第 2 の実施形態における誤ったビーム位置の場合の実測値、
 1 1 2 a ... 第 2 の実施形態における正しいビーム位置の場合のフィッティング関数、
 1 1 2 b ... 第 2 の実施形態における誤ったビーム位置の場合のフィッティング関数、
 1 1 3 b ... 第 2 の実施形態における実測値とフィッティング関数の差分、
 S 3 0 ... スキャニング照射方式の加速器準備、
 S 3 1 ... スキャニング照射方式の走査電磁石設定、
 S 3 2 ... スキャニング照射方式のスポット線量目標設定、
 S 3 3 ... スキャニング照射方式のビーム ON、
 S 3 4 ... スキャニング照射方式の線量満了、
 S 3 5 ... スキャニング照射方式のビーム OFF、
 S 3 6 ... スキャニング照射方式のビーム位置・幅計算、
 S 3 7 ... スキャニング照射方式のスポット照射制御フロー部、
 S 3 8 ... スキャニング照射方式のレイヤー・エネルギー変更制御フロー部、
 S 3 9 ... スキャニング照射方式の治療終了、
 S 3 1 A ... ラスタースキャン方式の走査電磁石設定、
 S 3 2 A ... ラスタースキャン方式のスポット線量目標設定、
 S 3 5 A ... ラスタースキャン方式のビーム OFF、
 S 3 5 B ... ラスタースキャン方式の G スポット走査電磁石設定、
 S 3 5 C ... ラスタースキャン方式の G スポット線量目標値設定、
 S 3 6 A ... ラスタースキャン方式のビーム位置・幅計算、
 S 3 7 A ... ラスタースキャン方式のスポット照射制御フロー部、
 S 3 8 A ... ラスタースキャン方式のレイヤー・エネルギー変更制御フロー部。

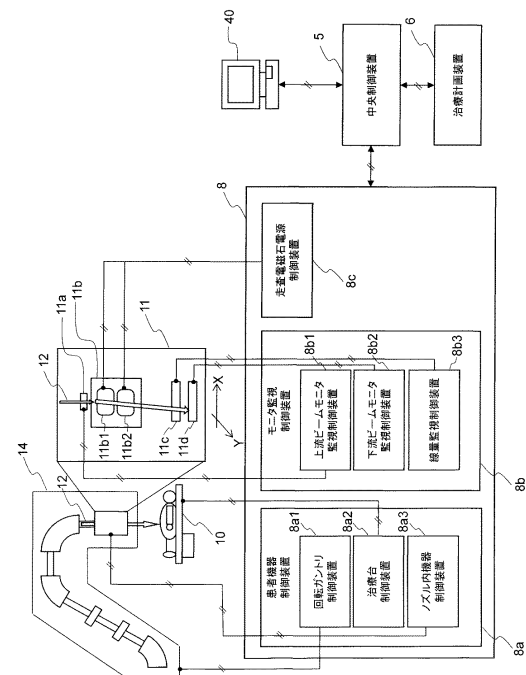
10

20

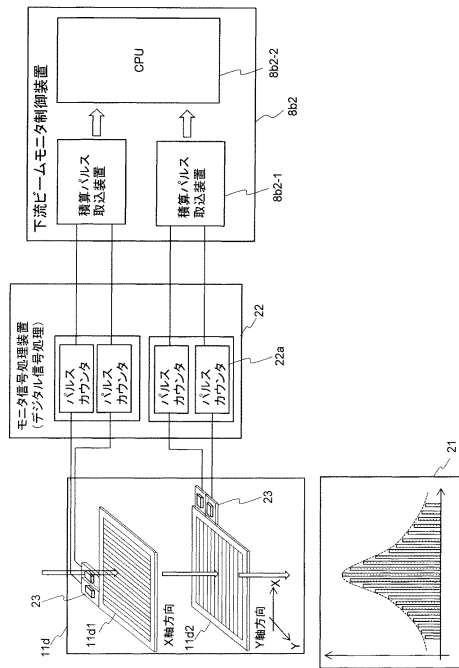
【図 1】



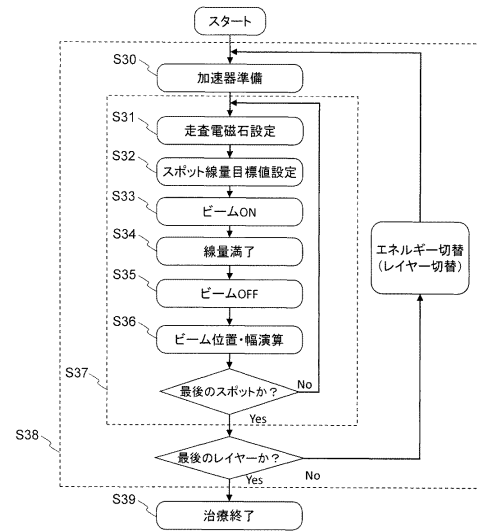
【図 2】



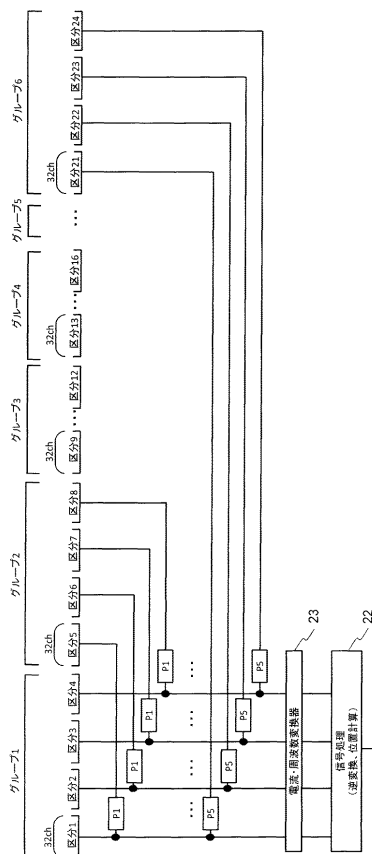
【図3】



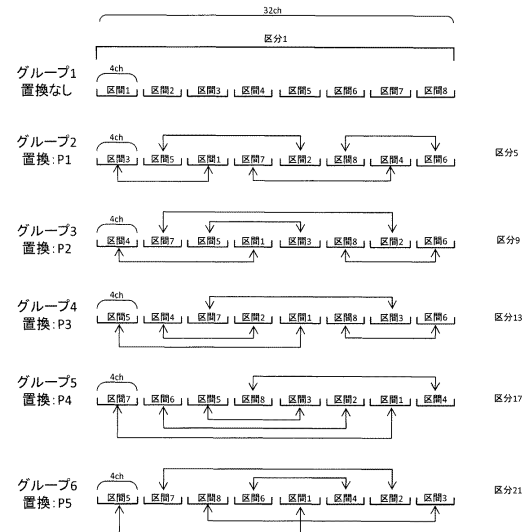
【図4】



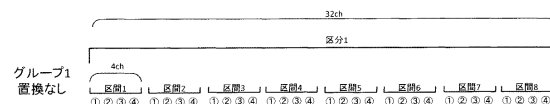
【図5】



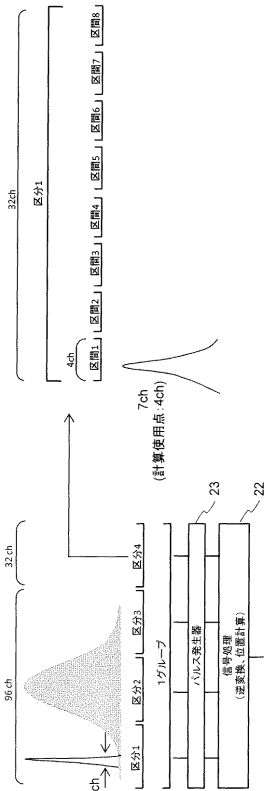
【図6】



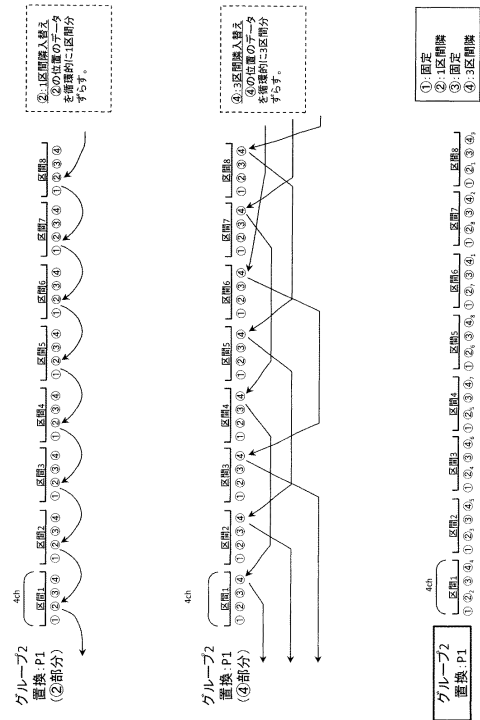
【図7】



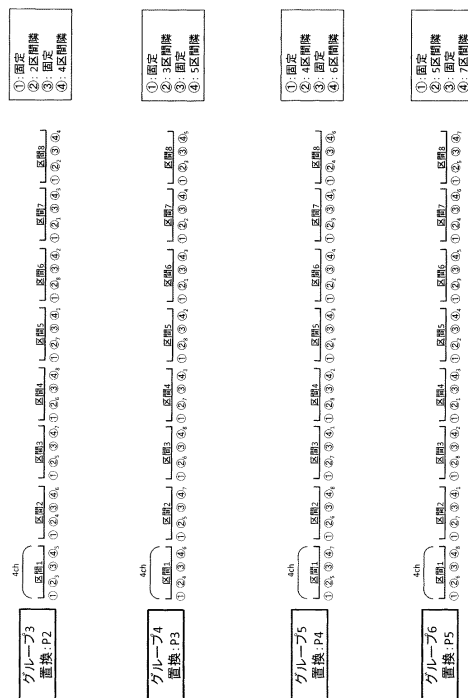
【図 8】



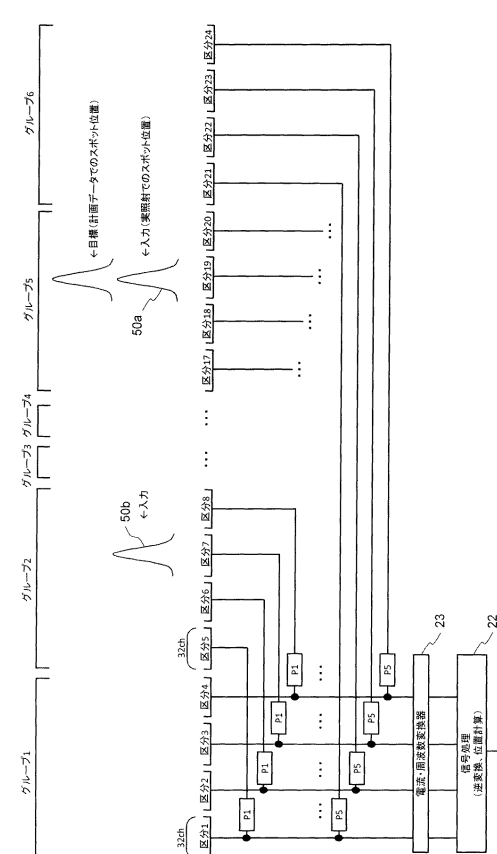
【図 9】



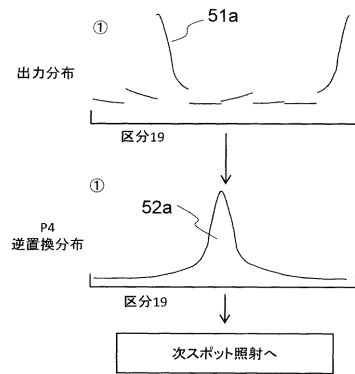
【図 10】



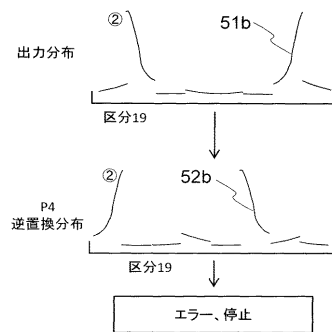
【図 11】



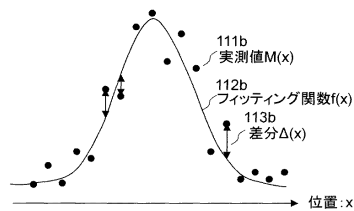
【図 12】



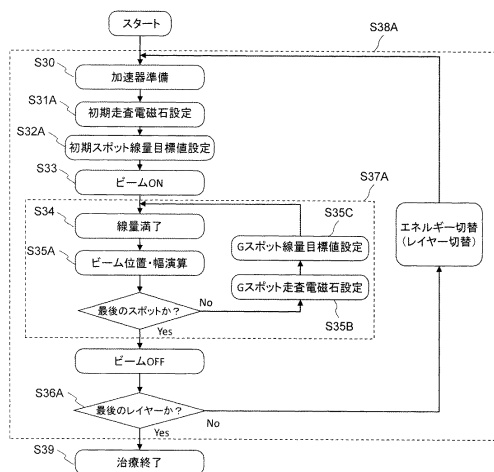
【図 13】



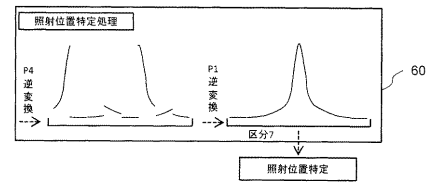
【図 16】



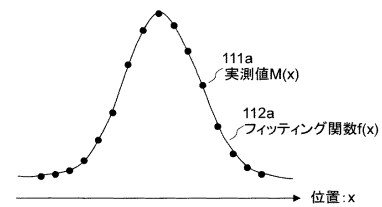
【図 17】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

- (72)発明者 森山 國夫
東京都千代田区外神田一丁目18番13号
ステム社 電力システム本部内 株式会社日立製作所 インフラシ
- (72)発明者 岩本 朋久
東京都千代田区外神田一丁目18番13号
ステム社 電力システム本部内 株式会社日立製作所 インフラシ
- (72)発明者 田所 昌宏
茨城県日立市幸町三丁目1番1号
内 株式会社日立製作所 日立事業所

審査官 石田 宏之

- (56)参考文献 特開2002-6054(JP,A)
特開昭60-144685(JP,A)
特開2013-181847(JP,A)
特開2010-82229(JP,A)
特開2005-293299(JP,A)
特開2002-99014(JP,A)
特開2008-64664(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61N 5/10
G01T 1/17-1/29