

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第1部門第2区分

【発行日】平成28年6月23日(2016.6.23)

【公開番号】特開2015-33402(P2015-33402A)

【公開日】平成27年2月19日(2015.2.19)

【年通号数】公開・登録公報2015-011

【出願番号】特願2013-164438(P2013-164438)

【国際特許分類】

A 6 1 N 5/10 (2006.01)

【F I】

A 6 1 N 5/10 Q

【手続補正書】

【提出日】平成28年5月9日(2016.5.9)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【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、

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。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0010

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0010】

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。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0019

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0019】

スキャニング照射装置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、スキャニングビームの照射野を形成する。

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。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0020

【補正方法】変更

【補正の内容】

【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。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0021

【補正方法】変更

【補正の内容】

【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。

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。

操作端末 4 0 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。

【手続補正 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 2 2

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 2 2】

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 8 a、モニタ監視制御装置 8 b および走査電磁石電源制御装置 8 c を備える。

患者機器制御装置 8 a は、回転ガントリ 1 4 を構成する各機器を制御する回転ガントリ制御装置 8 a 1、治療台 1 0 を移動して位置決め制御する治療台制御装置 8 a 2、ノズル 1 1 内に配置された機器を制御するノズル内機器制御装置 8 a 3 を備えている。このうち、回転ガントリ制御装置 8 a 1 は、回転ガントリ 1 4 の回転角度を制御することで、患者 1 3 に照射する荷電粒子ビームの照射角度を制御する。

【手続補正 7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 2 6

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 2 6】

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。

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とす。

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。

【手続補正 8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 2 7

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0027】

走査電磁石電源制御装置 8 c は、走査電磁石 11 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 11 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。

【手続補正 9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0030

【補正方法】変更

【補正の内容】

【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 11 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。

【手続補正 10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0032

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0032】

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 11 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。

【手続補正 11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0034

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0034】

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S36)。

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S31に戻り、走査電磁石電源制御装置8c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石11bの励磁電流値を変更する。

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を励磁すると(ステップS31)、モニタ監視制御装置8bの線量監視制御装置8b3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S32)。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S33)。

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S31)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S37)を繰り返し行う。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0039

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0039】

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22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8b2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。

【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0042

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0042】

下流ビームモニタ11dは、モニタ信号処理装置22を介して下流ビームモニタ監視制御装置8b2に接続される。

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(タンゲステンワイヤ等)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上に配置され、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。

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0043

【補正方法】変更

【補正の内容】

【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CPU8b2-2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。

【手続補正15】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0044

【補正方法】変更

【補正の内容】

【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8b2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。

【手続補正16】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0048

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0048】

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(1ch~128ch)は電流・周波数変換器23に接続される。信号処理装置22は、電流・周波数変換器23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8b2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。

【手続補正17】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0051

【補正方法】変更

【補正の内容】

【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でせず、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。

【手続補正18】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0057

【補正方法】変更

【補正の内容】

【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。

【手続補正19】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0063

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0063】

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CPU8b2-2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。

【手続補正20】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0076

【補正方法】変更

【補正の内容】

【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る、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。

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。

【手続補正21】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0082

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0082】

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8b2を用いて説明する。

【手続補正22】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0083

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0083】

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、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8b2で本処理を実施する構成としてもよいものとする。

【手続補正23】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0085

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0085】

更に、下流ビームモニタ監視制御装置8b2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。

【手続補正24】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0087

【補正方法】変更

【補正の内容】

【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。

【手続補正25】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0088

【補正方法】変更

【補正の内容】

【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。

【手続補正26】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0096

【補正方法】変更

【補正の内容】

【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を経てスキャニング照射装置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。

【手続補正27】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0106

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0106】

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。