

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5548571号  
(P5548571)

(45) 発行日 平成26年7月16日(2014.7.16)

(24) 登録日 平成26年5月23日(2014.5.23)

(51) Int. Cl. F 1  
A 6 1 N 5/10 (2006.01) A 6 1 N 5/10 H

請求項の数 5 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2010-218058 (P2010-218058)  
(22) 出願日 平成22年9月29日 (2010.9.29)  
(65) 公開番号 特開2012-70945 (P2012-70945A)  
(43) 公開日 平成24年4月12日 (2012.4.12)  
審査請求日 平成24年5月16日 (2012.5.16)

(73) 特許権者 000005108  
株式会社日立製作所  
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号  
(74) 代理人 100100310  
弁理士 井上 学  
(74) 代理人 100098660  
弁理士 戸田 裕二  
(74) 代理人 100091720  
弁理士 岩崎 重美  
(72) 発明者 西内 秀晶  
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号  
株式会社 日立製作  
所 エネルギー・環境システム研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 粒子線照射システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

イオンビームを加速して出射するシンクロトロンと、  
前記シンクロトロンから出射された前記イオンビームを照射対象に照射する照射装置と、

前記シンクロトロン及び照射装置を制御する制御装置を備え、  
前記照射装置は、通過するイオンビームを走査する走査電磁石及び前記イオンビームの線量を測定する線量モニタを有し、

前記制御装置は、  
照射対象の各照射領域に対する目標線量値及び前記目標線量値よりも低い値である閾値を記憶し、

前記シンクロトロンから出射するイオンビームの出射制御の開始とともに、前記シンクロトロンの加速用高周波信号と出射用高周波信号の出射制御用振幅制御データの更新を開始し、

前記線量モニタからの出力信号から求めた前記積算線量値が前記閾値に到達した際に、前記加速用高周波信号と前記出射用高周波信号の振幅制御データの更新を停止後、最終更新値を保持して出力し、

前記線量モニタからの出力信号から求めた積算線量値が目標線量に到達すると、前記加速用高周波信号と前記出射用高周波信号の出力の伝送を停止し、出射制御用振幅制御データを初期値に更新することを特徴とする粒子線照射システム。

10

20

## 【請求項 2】

前記制御装置は、

前記線量モニタからの出力信号から求めた積算線量値が前記目標線量値に到達すると、前記シンクロトロンへの加速用高周波信号及び出射用高周波信号の出力を停止して前記シンクロトロンからの前記イオンビームの出射を停止することを特徴とする請求項 1 に記載の粒子線照射システム。

## 【請求項 3】

前記制御装置は、

前記閾値と前記線量モニタからの出力信号に基づく積算線量値を比較する手段と、前記シンクロトロンの加速用高周波信号と出射用高周波信号の伝送を遮断する手段と、前記シンクロトロンの加速用高周波信号と出射用高周波信号の出射制御用振幅制御データとを有することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の粒子線照射システム。

10

## 【請求項 4】

前記シンクロトロンの前記加速用高周波信号及び前記出射用高周波信号の出射制御用振幅制御データは、初期値が 0 から始まり、徐々に増加する時系列データであることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の粒子線照射システム。

## 【請求項 5】

前記線量モニタからの出力信号と、出射ビーム電流の目標信号と、これら検出信号と目標信号の偏差に基づき、出射用高周波信号の振幅値に対するフィードバック制御をすることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の粒子線照射システム。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、粒子線照射システム及び荷電粒子ビーム出射方法に係り、特に、陽子または重イオンなどの荷電粒子ビーム（イオンビーム）をがんなどの患部に照射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に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

がんの放射線治療として、陽子または重イオン等のイオンビームを患者のがんの患部に照射して治療する粒子線治療が知られている。この治療に用いる粒子線治療装置は、イオンビーム発生装置、ビーム輸送系、及び照射装置を備える。イオンビーム発生装置は、周回軌道に沿って周回するイオンビームを所望のエネルギーまで加速させるシンクロトロンやサイクロトロンを有する。

30

## 【0003】

シンクロトロンは、周回軌道に沿って周回するイオンビームに高周波電圧を印加して目標のエネルギーまで加速する高周波加速装置（加速空洞）、周回しているイオンビームのベータトロン振動振幅を増大させる出射用高周波電極、及びイオンビームを周回軌道から取り出す出射用デフレクターを備える（例えば、特許文献 1）。目標エネルギーまで加速されたイオンビームをシンクロトロンからビーム輸送系へ出射する際、出射用高周波電極に高周波磁場または高周波電場（以下、高周波信号と表記）を印加し、周回しているイオンビームの固有振動であるベータトロン振動振幅を増大させる。ベータトロン振動振幅が増大したイオンビームは、安定限界外に移動し、シンクロトロンからビーム輸送系へ出射され、照射装置に輸送される。

40

## 【0004】

照射装置は、上記イオンビーム発生装置から導かれたイオンビームを、患者の体表面からの深さ及び患部形状に合わせて整形して、治療用ベッド上の患者の患部に照射する。照射装置では、患部形状に合わせてビームを走査し照射するビームスキヤニング法（非特許文献 1 の 2086～2090 頁、非特許文献 2 の 297～302 頁）が注目されている。ビームスキヤニング法の一つにスポットスキヤニングビーム走査法がある（非特許文献 1 の 2087～2089 頁、非特許文献 2 の 297～298 頁）。

50

## 【 0 0 0 5 】

スポットビームスキヤニング走査法では、患部をスポットと呼ばれる領域に分割し、治療計画によりスポット毎に付与する照射線量を設定する。スポットに照射される線量は、線量モニタにて逐次計測する。線量モニタで計測した照射線量が所定線量に到達すると、イオンビームの照射を停止する。イオンビームの照射停止後、走査電磁石の励磁量を次のスポット位置に対応した励磁量に変更し、イオンビームを照射する。このような走査と照射の繰り返しにより、患部平面方向の照射を実施する。また、患部平面方向の照射を完了したら、照射面の深さ方向を変更する。患部深さ方向の照射は、イオンビームの飛程を変更することで制御する。具体的には、照射装置に供給するイオンビームのエネルギーを変更することで実現できる。

10

## 【 0 0 0 6 】

このように、ビームスキヤニング法では、患部形状に合わせたイオンビームを照射するため、従来の散乱体照射法のように、患部形状に合わせた一様な吸収線量範囲（拡大ブラッグピーク（Spread-Out Bragg Peak）以下、SOBPと表記）を形成するための散乱体（SOBPフィルタ）や、ポーラス、コリメータ等の患部形状に合わせた患者固有具が不要となり、イオンビーム発生装置から照射装置に供給されるイオンビームを効率よく患部に照射することが可能である。

## 【 0 0 0 7 】

イオンビーム発生装置としてシンクロトロンを利用する場合、照射装置に供給するイオンビームのエネルギーは、加速空胴に供給する高周波信号の周波数と偏向電磁石の磁場強度により制御可能である。また、シンクロトロンから照射装置に供給するイオンビームの電流は、出射用高周波信号の振幅値により制御可能である。スポットスキヤニングビーム走査法で要求されるスポット毎のイオンビームの照射制御は、出射用高周波信号のON/OFF制御により実現できる。特に、スポットに対する照射線量が所定線量に到達した際にイオンビームの照射停止の際には、シンクロトロンから出射するイオンビームを素早く停止させることで、照射線量の精度を高める必要がある。シンクロトロンから出射するビームを高速で停止する技術として、加速空胴に供給する加速用高周波信号と高周波電極に供給する出射用高周波信号を同期して停止する技術が知られている（非特許文献3）。

20

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

30

## 【 0 0 0 8 】

【 特許文献 1 】 特許第 2 5 9 6 2 9 2 号 公 報

## 【 非特許文献 】

## 【 0 0 0 9 】

【 非特許文献 1 】 レビュー オブ サイエントフィック インストルメンツ 6 4 巻 8 号 ( 1 9 9 3 年 8 月 ) の 第 2 0 7 4 ~ 2 0 9 3 頁 ( REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS VOLUME 64 NUMBER 8(AUGUST 1993)P2074-2093 )

【 非特許文献 2 】 ニュークリア インストルメンツ アンド メソッド イン フィジックス リサーチ A 5 2 2 巻 ( 2 0 0 4 年 ) の 第 1 9 6 ~ 2 0 4 頁 ( Nuclear Instruments and Method in Physics Research A 522 (2004) P196-204 )

40

【 非特許文献 3 】 ニュークリア インストルメンツ アンド メソッド イン フィジックス リサーチ A 4 8 9 巻 ( 2 0 0 2 年 ) の 第 5 9 ~ 6 7 頁 ( Nuclear Instruments and Method in Physics Research A 489 (2002) P59-67 )

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 1 0 】

しかし、上記従来技術には次のような問題があった。シンクロトロンから出射するイオンビームを素早く停止する際に、シンクロトロンに設置された加速空胴に供給する加速用高周波信号と高周波電極に供給する出射用高周波信号を同期して停止すると、イオンビームは素早く停止することは可能である。しかしながら、次の照射スポットに対してイオン

50

ビームの照射を開始する際、加速用高周波信号と出射用高周波信号を同期して供給すると、出射ビーム電流波形の先頭にオーバーシュートが発生してしまう課題があった。図6に示すように、従来の加速用および出射用高周波信号の制御では、加速用高周波信号と出射用高周波信号の同期した制御を容易に実現するため、それぞれの高周波信号は低電力制御部で出射制御期間は常に0でない振幅値で出力しておき、それぞれの低電力制御部と高周波増幅器の間に高周波スイッチを設け、照射制御装置からのイオンビームON/OFF制御指令に基づき、高周波スイッチをON/OFF制御している。そのため、シンクロトロン内を周回するイオンビームには、加速空洞および出射用高周波電極に供給される高周波信号が急峻にON/OFF制御されるため、出射開始時のイオンビームの電流波形にはオーバーシュートが生じやすい。

10

**【0011】**

また、照射スポットの目標線量が低い場合、出射ビーム電流波形に生ずるオーバーシュートで照射線量が目標線量に到達してしまう恐れがある。そのため、従来は出射用高周波信号の振幅を低くし、出射ビーム電流を抑えることで、出射ビーム電流波形にオーバーシュートが生じても、オーバーシュートのみで目標線量に到達しないようにしている。このような出射ビーム電流を抑えるような制御を実施すると、単位時間あたりにシンクロトロンから出射されるイオンビームの線量が少なくなり、照射治療時間が掛かってしまう課題があった。

**【0012】**

本発明の目的は、シンクロトロンからイオンビームを出射する期間において、イオンビームのON制御時に発生する出射ビーム電流波形のオーバーシュートを抑制した粒子線照射システムを提供することにある。

20

**【課題を解決するための手段】****【0013】**

上記の目的を実現する本発明の特徴は、照射スポットの目標線量よりも低い線量閾値を設け、照射開始からこの線量閾値まではシンクロトロンからイオンビームを出射制御する際の加速用高周波信号と出射用高周波信号の振幅を0から徐々に増加させるように制御する。このような制御により、出射ビーム電流波形に生ずるオーバーシュート波形を抑制することができる。

**【0014】**

具体的には、照射制御装置から設定される照射スポットの目標線量よりも低い制御線量閾値を設定する手段と、照射装置内に設けてある線量モニタの出力を積算する手段と、積算した線量値と制御閾値を比較する手段を設け、シンクロトロンの出射制御時に利用する加速用高周波信号と出射用高周波信号の振幅制御データは0から徐々に増加する時系列パターンデータとする。

30

**【0015】**

照射制御装置からのイオンビームON信号により加速用および出射用高周波信号を高周波増幅器へ接続する高周波スイッチをそれぞれONし、これと並行して加速用および出射用高周波信号の振幅制御データを更新し出力する。加速用および出射用高周波スイッチがONされ、振幅制御データが更新し出力することでシンクロトロンからイオンビームが徐々に出射され、線量モニタの出力を積算した結果が制御閾値に到達したら加速用および出射用高周波信号の振幅制御データの更新を停止し、最終更新値を保持した状態で振幅制御データを出力する。

40

**【0016】**

照射制御装置からのイオンビームOFF信号により、加速用および出射用の高周波スイッチをそれぞれOFFし、加速用および出射用高周波信号の振幅制御データの出力を停止後、これらの振幅制御データを初期値に戻す。照射制御装置からのイオンビームOFF信号により振幅制御データを初期値に戻すことで、次の照射スポットへの照射開始時の振幅制御データを0から出力できる。

**【発明の効果】**

50

## 【 0 0 1 7 】

本発明によれば、シンクロトロンにおいて素早くイオンビームを停止した後の出射制御時に生じる出射ビーム電流波形のオーバーシュートを抑制することができるようになる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 8 】

【 図 1 】 本発明を実現する粒子線照射システムの構成を示す。

【 図 2 】 本発明を実現する加速用高周波信号と出射用高周波信号の制御ブロックダイアグラムを示す。

【 図 3 】 本発明による加速用高周波信号と出射用高周波信号の制御による出射ビーム電流波形を示す。

10

【 図 4 】 本発明を実現する加速用高周波信号と出射用高周波信号の制御ブロックダイアグラムを示す。

【 図 5 】 本発明による加速用高周波信号と出射用高周波信号の制御による出射ビーム電流波形を示す。

【 図 6 】 従来法による加速用高周波信号と出射用高周波信号の制御による出射ビーム電流波形を示す。

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 1 9 】

以下に、本発明の実施例を説明する。

## 【 実施例 1 】

20

## 【 0 0 2 0 】

本実施例の粒子線照射システム 1 は、図 1 に示すように、イオンビーム発生装置 1 1 ，高エネルギービーム輸送系 1 4 ，照射野形成装置（荷電粒子ビーム照射装置、以下、照射装置という）3 0 を備え、高エネルギービーム輸送系 1 4 が、イオンビーム発生装置 1 1 と治療室内に配置される照射装置 3 0 を接続する。

## 【 0 0 2 1 】

上記粒子線照射システム 1 の制御システムは、イオンビーム発生装置 1 1 および高エネルギービーム輸送系 1 4 を制御する加速器制御装置 4 0 、粒子線照射システム 1 全体を統括して制御する統括制御装置 4 1 、患者へのビーム照射条件を計画する治療計画装置 4 3 、治療計画装置 4 3 で計画した情報やイオンビーム発生装置 1 1 および高エネルギービーム輸送系 1 4 の制御情報等を記憶する記憶装置 4 2 、イオンビーム発生装置 1 1 を構成する機器の同期制御を実現するタイミングシステム 5 0 、患者の安全を担保するために統括制御装置 4 1 とは独立のインターロックシステム（図示せず）を備える。また、出射用制御装置 2 1 は、イオンビーム発生装置 1 1 から高エネルギービーム輸送系 1 4 へのビームを出射する際に利用する高周波電圧を制御する。

30

## 【 0 0 2 2 】

イオンビーム発生装置 1 1 は、イオン源（図示せず）、前段加速器 1 2 及びシンクロトロン 1 3 を備える。イオン源は前段加速器 1 2 に接続され、前段加速器 1 2 はシンクロトロン 1 3 に接続される。前段加速器 1 2 は、イオン源で発生したイオンビーム 1 0 をシンクロトロン 1 3 に入射可能なエネルギーまで加速する。前段加速器 1 2 で加速されたイオンビーム 1 0 a は、シンクロトロン 1 3 に入射される。

40

## 【 0 0 2 3 】

シンクロトロン 1 3 では、加速用高周波信号 1 8 8 を加速用高周波増幅器 1 7 で増幅した高周波電圧を加速空洞 1 5 に印加し、シンクロトロン 1 3 に入射したイオンビーム 1 0 b は、加速空洞を通過する際にエネルギーを付与することで、所望のエネルギーまで加速する。この際、シンクロトロン 1 3 内を周回するイオンビーム 1 0 b の周回軌道が一定となるように、イオンビーム 1 0 b の周回エネルギーの増加に合わせて偏向電磁石（図示せず）、四極電磁石（図示せず）等の磁場強度および、加速空洞 1 5 に印加する高周波電圧の周波数を高める。

## 【 0 0 2 4 】

50

所望のエネルギーまで加速したイオンビーム 10 b は、出射準備制御により、四極電磁石および六極電磁石（図示せず）の励磁量により周回ビーム 10 b が出射可能な条件（周回ビームの安定限界条件）を成立させる。出射準備制御が終了後、出射用制御装置 21 から出射用高周波信号 217 を加速用高周波増幅器 17 で増幅した後に、出射用高周波電極 19 に印加し、シンクロトロン 13 内を周回するビーム 10 b のベータトロン振動振幅を増大させる。このベータトロン振動振幅の増大により、安定限界条件を超えた周回ビーム 10 b はシンクロトロン 13 から高エネルギービーム輸送系 14 に出射される。シンクロトロン 13 からのビーム出射制御は、出射用制御装置 21 によって出射用高周波電極 19 に印加する出射用高周波信号 217 の ON/OFF 制御により実現可能であり、スポットスキニングビーム走査法で求められる高速でのビーム OFF 制御を実現するため、加速空胴 15 に印加する加速用高周波信号 188 と出射用高周波信号 217 の ON/OFF 制御を同期させることで実現する。

10

## 【0025】

シンクロトロン 13 から出射されたビーム 10 c は、高エネルギービーム輸送系 14 により照射装置 30 に輸送される。照射装置 30 では、患者に照射するビーム 10 d の照射線量を計測する線量モニタ 31 にて、照射するビーム 10 d の線量強度を逐次確認し、走査電磁石 32 で患部形状に合わせてビーム 10 d を走査する。また、患部深さ方向のビーム飛程変更は、シンクロトロン 13 で加速するビーム 10 b のエネルギーを変更して出射することで、患部形状に合わせた照射野を形成する。

## 【0026】

20

ここで、本実施例における照射制御時の制御方法について説明する。治療計画装置 43 で計画された各照射スポットへの目標線量 331 が照射制御装置 33 に設定される。照射制御装置 33 は、各照射スポットへの目標線量 331 から、加速用高周波信号 188 および出射用高周波信号 217 の出力制御を切り替える閾値（以下、制御線量）332 を目標線量 331 に対して予め設定された比率（例えば、10% や 20% といった値）により算出する。目標線量 331 は、積算線量カウンタ 34 の出力値と比較する比較器 351 に設定する。制御線量 332 は、積算線量カウンタ 34 の出力値と比較する比較器 352 に設定する。比較器 351 および 352 は、積算線量カウンタ 34 からの出力値と目標線量 331 および制御線量 332 を比較し、それぞれの比較結果 361, 362 を加速用制御装置 18 と出射用制御装置 21 にそれぞれ出力する。

30

## 【0027】

図 2 に加速用高周波信号と出射用高周波信号の制御ブロックダイアグラムを示す。

## 【0028】

シンクロトロン 13 で所望のエネルギーまでビーム 10 b を加速後、出射制御の開始を示すタイミングシステム 50 からの出射制御タイミング信号 51 に基づき、加速用制御装置 18 は、振幅制御データ 184 を加速制御用パターンデータメモリ 181 から、出射制御用パターンデータメモリ 182 に切り替え、出射制御用パターンデータの初期値に設定する。加速用高周波信号 188 を加速用制御装置 18 から加速用高周波増幅器 17 への伝送線路の終段に設けてある高周波スイッチ 187 は、加速制御中は閉じておく。照射制御装置 33 は、出射制御の開始を示すタイミングシステム 50 からの出射制御タイミング信号 51 に基づき、ビーム出射制御指令 333 を ON し、出射用高周波信号の高周波スイッチ 216 を閉じる。

40

## 【0029】

出射制御の開始により、加速用高周波信号の出射制御用パターンデータメモリ 182 から、振幅制御データ 184 の更新制御を開始し、振幅変調回路 186 に設定する。同様に、出射用高周波信号の出射制御用パターンデータメモリ 211 から、振幅制御データ 214 の更新制御を開始し、振幅変調回路 215 に設定する。

## 【0030】

加速用高周波信号 188 と出射用高周波信号 217 のそれぞれの出射制御用パターンデータは、振幅設定値の初期値が 0 であり、更新制御に伴い増加させる。出射ビーム電流波

50

形は、出射用高周波信号 2 1 7 の振幅制御データ 2 1 4 に基づき、徐々に出射ビーム電流が高くなる。加速用高周波信号 1 8 8 の振幅制御データ 1 8 4 を 0 から徐々に増加することで、周回ビームのシンクロトロン振動の周波数成分が出射ビーム電流波形に重畳することを抑制できる。

【 0 0 3 1 】

また、加速用高周波信号 1 8 8 の振幅値制御には、加速空洞 1 5 に印加されている高周波信号の振幅値を空洞電圧モニタ 1 6 でモニタし、加速用高周波信号の振幅設定値にフィードバック制御を施す A V C ( Automatic Voltage Control ) 回路 1 8 5 を設けることで、加速用高周波信号の安定な振幅値制御が実現できる。

【 0 0 3 2 】

シンクロトロンから出射されたビーム 1 0 c は、高エネルギービーム輸送系 1 4 を通過し、照射装置 3 0 に供給される。照射装置 3 0 に供給されたビームは、走査電磁石 3 2 によって所定のスポットに走査し照射される。積算線量カウンタ 3 4 は、ビーム出射制御指令 3 3 3 の O N 指令とともにカウント値 3 4 1 をクリアした後、カウントを開始する。積算線量カウンタ 3 4 のカウント値 3 4 1 は、目標線量 3 3 1 と比較する比較器 3 5 1 と、制御線量値 3 3 2 と比較する比較器 3 5 2 に並列して出力される。

【 0 0 3 3 】

積算線量カウンタ 3 4 のカウント値 3 4 1 と制御線量値 3 3 2 を比較する比較器 3 5 2 は、積算線量カウント値 3 4 1 が制御線量値 3 3 2 以上となった場合、比較器出力信号 3 6 2 を変更する。加速用高周波信号 1 8 8 および出射用高周波信号 2 1 7 の振幅制御データ 1 8 4 および 2 1 4 の更新制御は、積算線量カウント値が制御線量値以上となった際に出力される比較器 3 6 2 の出力信号 3 6 2 に基づき、更新を停止し、最終更新値の出力を保持する。

【 0 0 3 4 】

積算線量カウンタ 3 4 のカウント値 3 4 1 と目標線量値 3 3 1 を比較する比較器 3 5 1 は、積算線量カウント値 3 2 1 が目標線量値 3 3 1 と一致した場合に比較器 3 5 1 の出力信号を変更する。この比較器 3 5 1 の出力変更に基づき、照射制御装置 3 3 はビーム出射制御指令 3 3 3 の O F F 指令を出力する。ビーム出射制御指令 3 3 3 の O F F 指令に基づき、加速用高周波信号 1 8 8 および出射用高周波信号 2 1 7 をそれぞれの加速用高周波増幅器 1 7 および出射用高周波増幅器 2 0 への伝送線路上に設けた高周波スイッチ 1 8 7 および 2 1 6 を開き、加速用高周波信号 1 8 8 および出射用高周波信号 2 1 7 の伝送を高速に遮断する。この制御によって、ビーム出射制御指令 3 3 3 の O F F 指令に基づく高速なビーム遮断制御を実現する。なお、本実施例では詳細を記していないが、加速用高周波信号 1 8 8 の加速用高周波増幅器 1 7 まで伝送線路上に設けた高周波スイッチ 1 8 7 は、加速制御中には常に閉じている必要があり、出射制御時のみ、出射用高周波信号 2 1 7 と同期した O N / O F F 制御を実施する。

【 0 0 3 5 】

加速用高周波信号と出射用高周波信号の制御による出射ビーム電流波形の変化について図 3 を用いて説明する。ビーム出射制御指令 3 3 3 は、照射スポット毎にビームを照射するため、図 3 のように O N 指令と O F F 指令が繰り返し出力される。ビーム出射制御指令 3 3 3 が O N になると、加速用高周波信号 1 8 8 と出射用高周波信号 2 1 7 の振幅制御データ 1 8 4 および 2 1 4 が更新され、ビームが出射され始める。この際、加速用高周波信号 1 8 8 と出射用高周波信号 2 1 7 の振幅制御データ 1 8 4 および 2 1 4 は、それぞれ 0 から徐々に増加するデータを用いることで、図 6 に示した従来の加速用および出射用高周波信号の制御法のように、一定値で出力されている加速用高周波信号 1 8 8 および出射用高周波信号 2 1 7 を高周波スイッチ 1 8 7 および 2 1 6 で O N / O F F 制御により、出射ビーム波形にオーバーシュートは発生しない。

【 0 0 3 6 】

積算線量モニタ 3 4 のカウント値 3 4 1 は、徐々に増加し、制御線量値 3 3 2 に到達した時点で各振幅制御データ 1 8 4 および 2 1 4 の更新制御を停止し、最終設定値を保持し

10

20

30

40

50

て出力する。これにより、照射スポット区間で目標線量 331 に到達するまでビームを出射し、目標線量 331 に到達した時点で高周波スイッチ 187 と 216 を開き、加速用高周波信号 188 および出射用高周波信号 217 の供給を停止することで、高速に遮断することができる。

【0037】

加速用高周波信号 188 および出射用高周波信号 217 の高速遮断制御と並行して振幅制御データ 184 および 214 の出力を停止し、出射制御用パターンデータメモリ 182 および 211 の初期値に設定する。出射制御用パターンデータメモリ 182 および 211 を初期値に戻すことで、次の照射スポットへのビーム出射に備え、次のスポットへの出射ビーム ON 指令時に加速用および出射用高周波信号の振幅制御データ 184 および 214 の ON 制御を同期させても、出射ビーム電流波形にオーバーシュートを生じずに制御することが可能となる。

10

【0038】

以上に示したような高周波信号の制御は、所定のスポットへの照射が完了もしくは、シンクロトロン 13 内の周回ビーム 10b がなくなるまで繰り返し実施し、出射制御が終了したら、加速用高周波信号 188 の振幅制御パターンデータメモリを出射制御前に利用していた加速制御用パターンデータメモリ 181 に切り替え、減速制御を実施する。

【0039】

本実施例によれば、シンクロトロンからイオンビームを出射制御において、イオンビームの ON 制御時に出射ビーム電流波形のオーバーシュートを抑制することができる。さらに、イオンビームの OFF 制御時に出射ビームを高速で停止することができる。

20

【0040】

従来法では、オーバーシュートの発生を抑制するため、出射用高周波信号の振幅値を低く制御して出射ビーム電流を抑えたため、照射治療時間が掛かっていたが、本実施例の適用により、出射用高周波信号の振幅制御値を 0 から徐々に高めるように更新制御することでオーバーシュートを抑制できるため、出射用高周波信号の振幅制御値を必要以上に抑えることが不要となり、単位時間当たりのイオンビーム線量を増やすことができ、照射治療時間を短縮できる。

【実施例 2】

【0041】

本発明の他の例である第 2 実施例を示す。実施例 1 と異なる点は、出射用高周波信号の制御に出射ビーム電流フィードバック制御を適用している点である。これ以外の部分は実施例 1 と同様である。

30

【0042】

図 4 に、本実施例のように出射ビーム電流フィードバックを適用した場合の加速用高周波信号と出射用高周波信号の制御ブロックダイアグラムを示す。出射用高周波信号の制御ブロックにおいて、出射制御用パターンデータに目標電流パターンデータと、線量モニタからの出射ビーム電流波形を入力する手段と、出射ビーム電流波形と目標電流パターンデータの偏差より出射用高周波信号の振幅値をフィードバック補正する制御手段を追加する。

40

【0043】

図 5 に示すように、出射ビーム ON 指令により、加速用高周波信号および出射用高周波信号の振幅制御値と、出射ビーム電流の目標電流パターンデータの更新を開始し、高周波スイッチを閉じる。この制御と並行して、線量モニタからの出射ビーム電流波形の入力を開始する。出射ビーム電流の目標電流設定値と線量モニタからの出射ビーム電流出力値の偏差より、出射用高周波信号の振幅制御値の補正量を算出する。算出した補正量を出射用高周波信号の振幅制御値に加算することで、出射ビーム電流フィードバック制御を実現する。

【0044】

積算線量カウンタのカウント値が制御線量値以上となった場合、比較器の出力を変更し

50

、加速用高周波信号および出射用高周波信号の振幅制御設定値および出射ビーム電流の目標電流設定値の更新を停止し、最終更新地の出力を保持する。出射ビーム電流の目標電流設定値の更新を停止後も、出射ビーム電流フィードバック制御を実施することで、一定のビーム電流で出射することが可能となる。積算線量カウント値が目標線量値と一致した場合に比較器出力信号を変更する。この比較器信号出力の変更に基づき、照射制御装置は出射ビームOFF指令を出力する。出射ビームOFF指令による出射制御用パターンデータの制御は、実施例1と同様である。

【0045】

このような出射ビーム電流フィードバック制御手段を設けることで、出射ビームON指令に伴う出射ビーム電流波形の精度良い制御が実現できる。

10

【0046】

本実施例によれば、シンクロトロンからイオンビームを出射制御において、イオンビームのON制御時に出射ビーム電流波形のオーバーシュートを抑制することができる。さらに、イオンビームのOFF制御時に出射ビームを高速で停止することができる。また、出射ビームの電流強度制御を簡素な装置構成で実現することができる。

【0047】

従来法では、オーバーシュートの発生を抑制するため、出射用高周波信号の振幅値を低く制御して出射ビーム電流を抑えたため、照射治療時間が掛かっていたが、本実施例の適用により、出射用高周波信号の振幅制御値を0から徐々に高めるように更新制御することでオーバーシュートを抑制できるため、出射用高周波信号の振幅制御値を必要以上に抑えることが不要となり、単位時間当たりのイオンビーム線量を増やすことができ、照射治療時間を短縮できる。

20

【符号の説明】

【0048】

- 1 粒子線照射システム
- 10 a, 10 b, 10 c, 10 d イオンビーム
- 11 イオンビーム発生装置
- 12 前段加速器
- 13 シンクロトロン
- 14 高エネルギービーム輸送系
- 15 加速空洞
- 16 空洞電圧モニタ
- 17 加速用高周波増幅器
- 18 加速用制御装置
- 19 出射用高周波電極
- 20 出射用高周波増幅器
- 21 出射用制御装置
- 30 照射装置
- 31 線量モニタ
- 32 走査電磁石
- 40 加速器制御装置
- 41 統括制御装置
- 42 記憶装置
- 43 治療計画装置
- 50 タイミングシステム
- 51 出射制御タイミング信号
- 180 加速用コントローラ
- 181 加速制御用パターンデータメモリ
- 182, 211 出射制御用パターンデータメモリ
- 183 メモリ切り替え手段

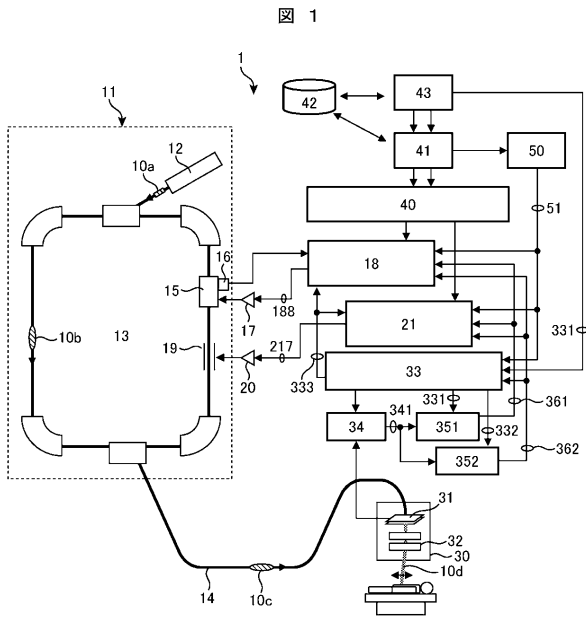
30

40

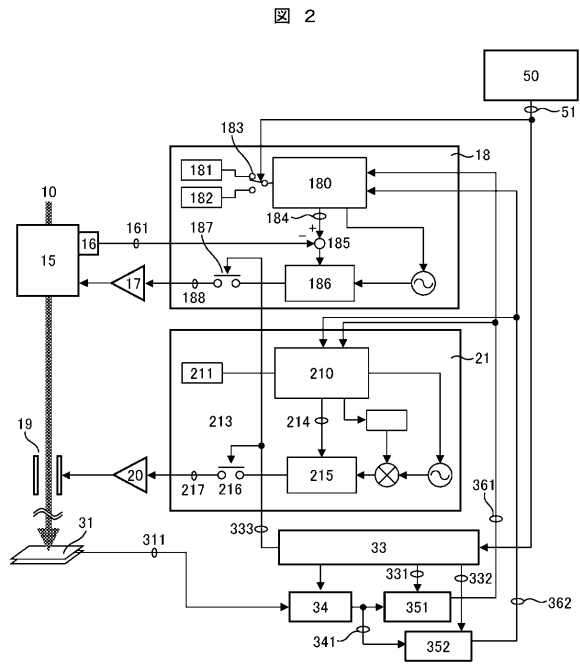
50

- 184, 214 振幅制御データ
- 185 AVC回路
- 186, 215 振幅変調回路
- 187, 216 高周波スイッチ
- 188 加速用高周波信号
- 217 出射用高周波信号

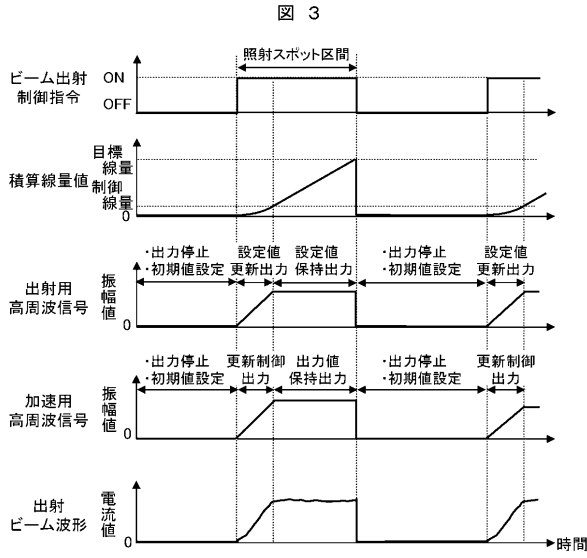
【図1】



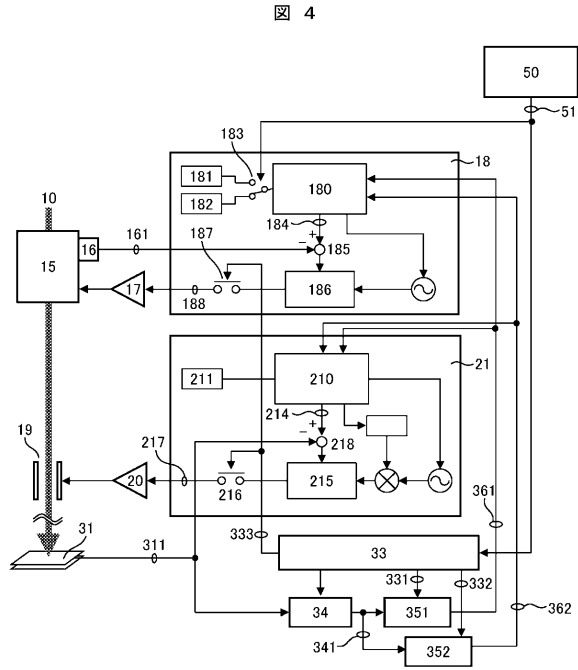
【図2】



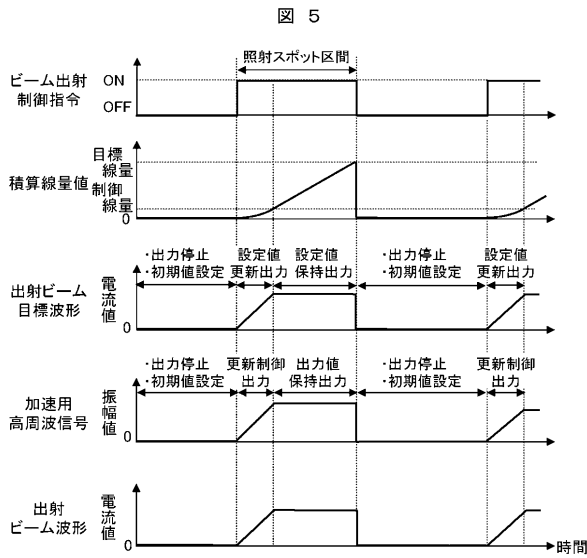
【図3】



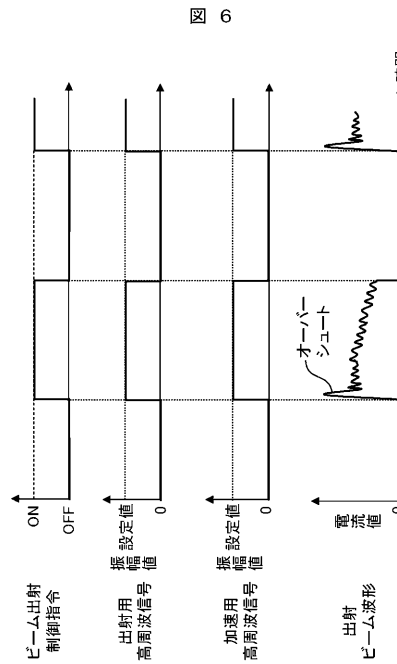
【図4】



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

(72)発明者 遠竹 聡  
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号  
株式会社 日立製作所 エネルギー・環境システム研究所内

(72)発明者 齋藤 一義  
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号  
株式会社 日立製作所 エネルギー・環境システム研究所内

審査官 五閑 統一郎

(56)参考文献 特開2006-145213(JP,A)  
特開平07-014699(JP,A)  
特開2007-260193(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
A61N 5/10  
G21K 5/04