

【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3月3日(2016.3.3)

【公開番号】特開2015-24024(P2015-24024A)

【公開日】平成27年2月5日(2015.2.5)

【年通号数】公開・登録公報2015-008

【出願番号】特願2013-155770(P2013-155770)

【国際特許分類】

A 6 1 N 5/10 (2006.01)

【F I】

A 6 1 N 5/10 H

A 6 1 N 5/10 M

【手続補正書】

【提出日】平成28年1月19日(2016.1.19)

【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】

イオンビームを加速して出射するシンクロトロンと、
この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する照射装置と、
患者の生理的活動による患部の移動を検知する検知手段と、
この検知手段からの出力値に基づき、出射許可判定信号を出力する出射許可判定手段と、

前記シンクロトロンを構成する機器の運転制御データを、1以上の初期加速制御データ、複数のエネルギーのイオンビームを出射する複数の出射制御データ、前記複数の出射制御データ間を接続する複数のエネルギー変更制御データ、前記複数の出射制御データに対応した複数の減速制御データで構成し、これらの制御データを組み合わせることで複数のエネルギーのビームの出射制御を行う制御装置とを備え、

前記制御装置は、前記出射許可判定手段から出力される出射許可判定信号に基づいて前記シンクロトロンからのビーム出射制御を実施する

ことを特徴とする粒子線照射システム。

【請求項2】

請求項1記載の粒子線照射システムにおいて、

前記制御装置は、前記シンクロトロンからのビーム出射制御時に、前記出射許可判定手段から出力される出射許可判定信号に基づき、同一のエネルギーで複数回のビーム出射制御を実施する

ことを特徴とする粒子線照射システム。

【請求項3】

請求項2記載の粒子線照射システムにおいて、

前記出射許可判定手段は、前記検知手段において、前記患部が出射許可範囲内にあるときに前記出射許可判定信号を出力し、前記患部が出射許可範囲内にないときは前記出射許可判定信号を出力しない

ことを特徴とする粒子線照射システム。

【請求項4】

請求項1記載の粒子線照射システムにおいて、

前記制御装置は、

前記シンクロトロンを構成する機器の制御タイミングを管理する複数の制御タイミング信号を出力するタイミングシステムと、

前記シンクロトロンを構成する機器を制御する電源制御装置とを有し、

前記運転制御データを構成する前記初期加速制御データ、前記複数の出射制御データ、前記複数のエネルギー変更制御データおよび前記複数の減速制御データは、前記電源制御装置に記憶されており、

前記電源制御装置は、前記タイミングシステムから出力される前記複数の制御タイミング信号を入力し、これらの制御タイミング信号に基づき、前記初期加速制御データ、前記複数の出射制御データ、前記複数のエネルギー変更制御データおよび前記複数の減速制御データを選択して更新する

ことを特徴とする粒子線照射システム。

【請求項 5】

請求項 4 記載の粒子線照射システムにおいて、

前記シンクロトロン内の蓄積ビーム量を検出するビーム量検出手段を更に備え、

前記制御装置は、

前記出射許可判定手段から出力される出射許可判定信号の入力を受け、前記シンクロトロンの運転制御が出射条件設定され、かつ出射許可判定信号が入力されたときはビーム出射制御を指令し、

前記出射許可判定信号が停止された際は、前記ビーム量検出手段から入力された前記シンクロトロン内の蓄積ビーム量の検出結果と照射中のエネルギーでのビーム照射が完了したかの判定結果とに基づいて、再び出射許可判定信号が出力された際に当該エネルギーでのビーム出射が可能のように待機するか、次のエネルギーのビームが照射可能のようにエネルギー変更制御に遷移するか、減速制御に遷移するかを判定し、前記タイミングシステムに対して先に判定したそれぞれの制御に対応した制御指令を出力する

ことを特徴とする粒子線照射システム。

【請求項 6】

請求項 4 記載の粒子線照射システムにおいて、

前記制御装置は、

前記シンクロトロンに入射したビームエネルギーを初段の出射エネルギーまでビームを加速する初期加速指令、前記シンクロトロンで初期加速ないしエネルギー変更後に出射条件を設定する照射準備開始指令、前記シンクロトロンで出射条件の設定が完了したことを示す照射待機指令、前記出射許可判定手段から出力される出射許可判定信号と前記シンクロトロンの出射条件設定状態とに基づき出力されるビーム出射指令、前記患者へのビーム照射を停止する照射停止指令、前記患者に照射されたイオンビームの照射経過情報に基づき出力されるエネルギー変更指令、前記シンクロトロンおよび前記照射装置を含んだ粒子線照射システムを構成する機器の状態に基づき出力される減速制御指令および照射を完了したことを示す照射完了指令を出力するインターロックシステムを更に有し、

前記タイミングシステムは、前記インターロックシステムから出力される前記初期加速指令、前記照射準備開始指令、前記照射待機指令、前記照射停止指令、前記エネルギー変更指令および前記減速制御指令に基づいて、前記複数の制御タイミング信号の中から対応する制御タイミング信号を選択して出力する

ことを特徴とする粒子線照射システム。

【請求項 7】

請求項 4 記載の粒子線照射システムにおいて、

前記電源制御装置は、

前記タイミングシステムから入力された前記複数のタイミング信号のうち減速制御開始タイミング信号を入力したときは、複数の減速制御データの中から出射制御完了時のエネルギーに対応する減速制御データを選択し、減速制御に遷移するよう制御する

ことを特徴とする粒子線照射システム。

【請求項 8】

請求項 6 記載の粒子線照射システムにおいて、

前記インターロックシステムは、前記シンクロトロンおよび前記照射装置を含む粒子線照射システムを構成する機器に異常が生じた場合にも前記減速制御指令を出力し、

前記電源制御装置は、前記タイミングシステムから減速制御開始タイミング信号を入力したとき、現在の制御データを更新した後、前記複数の減速制御データの中からその更新制御終了後の到達エネルギーに対応する減速制御データを選択し、減速制御に遷移するよう制御する

ことを特徴とする粒子線照射システム。

【請求項 9】

請求項 6 記載の粒子線照射システムにおいて、

前記インターロックシステムは、あるエネルギーの出射制御完了後に次の目標エネルギーが存在する場合或いは初期加速制御終了後およびエネルギー変更制御終了後に到達したエネルギーと次の目標エネルギーが一致しない場合にエネルギー変更指令を出力し、

前記タイミングシステムは、前記エネルギー変更指令を入力したとき、前記複数の制御タイミング信号の中からエネルギー変更制御タイミング信号を選択して出力し、

前記電源制御装置は、前記エネルギー変更制御タイミング信号を入力したとき、前記複数のエネルギー変更制御データの中から前記あるエネルギーあるいは到達エネルギーに対応するエネルギー変更制御データを選択し、エネルギー変更制御に遷移するよう制御することを特徴とする粒子線照射システム。

【請求項 10】

請求項 1 記載の粒子線照射システムにおいて、

前記運転制御データを構成する前記初期加速制御データ、前記複数の出射制御データ、前記複数のエネルギー変更制御データおよび前記複数の減速制御データは、前記シンクロトロンを構成する機器に直接与えられる制御量である電流／電圧の時系列データによって構成されている

ことを特徴とする粒子線照射システム。

【請求項 11】

請求項 1 記載の粒子線照射システムにおいて、

前記制御装置は、

前記運転制御データを構成する前記初期加速制御データ、前記複数の出射制御データ、前記複数のエネルギー変更制御データおよび前記複数の減速制御データを含めて、想定される複数の患者の照射条件に対応した全てのエネルギーのビーム出射を可能とする制御データをモジュールデータとして記憶した記憶装置と、

前記シンクロトロンを構成する機器を制御する電源制御装置とを有し、

前記制御装置は、照射準備に際して、特定の患者の照射条件が与えられたとき、前記記憶装置に記憶したモジュールデータの中から該当する制御データを選択して前記電源制御装置に記憶し、前記運転制御データを構成する

ことを特徴とする粒子線照射システム。

【請求項 12】

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する照射装置と、

患者の生理的活動による患部の移動を検知する検知手段と、

この検知手段からの出力値に基づき、出射許可判定信号を出力する出射許可判定手段と、

想定される複数の患者の照射条件に対応した全てのエネルギーのビーム出射を可能とする制御データであって、複数のエネルギーのイオンビームに対応した1以上の初期加速制御データ、複数の出射制御データ、複数のエネルギー変更制御データおよび複数の減速制御データを含む制御データをモジュールデータとして記憶した記憶装置と、

前記シンクロトロンを構成する機器を制御する電源制御装置と、

照射準備に際して、特定の患者の照射条件が与えられたとき、前記記憶装置に記憶したモジュールデータの中から該当する制御データを選択して前記電源制御装置に記憶し、前記シンクロトロンの機器の運転制御データを構成する制御装置とを備え、

前記制御装置は、前記出射許可判定手段から出力される出射許可判定信号に基づいて前記シンクロトロンからのビーム出射制御を実施する

ことを特徴とする粒子線照射システム。

【請求項 1 3】

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する照射装置と、

患者の生理的活動による患部の移動を検知する検知手段と、

この検知手段からの出力値に基づき、出射許可判定信号を出力する出射許可判定手段とを備えた粒子線照射システムの運転方法であって、

前記シンクロトロンを構成する機器の運転制御データを、初期加速制御データと、複数のエネルギーのイオンビームを出射する複数の出射制御データと、前記複数の出射制御データ間を接続する複数のエネルギー変更制御データおよび、前記複数の出射制御データに対応した複数の減速制御データで構成し、これらの制御データを組み合わせることで複数のエネルギーのビームの出射制御を行い、かつ前記複数のエネルギーに対応した減速制御データを有することで、どのエネルギーからも速やかに減速制御へ遷移可能とするとともに、前記出射許可判定手段から出力される出射許可判定信号に基づいて前記シンクロトロンからのビーム出射制御を実施する

ことを特徴とする粒子線照射システムの運転方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 記載の粒子線照射システムの運転方法において、

前記運転制御データを構成する前記初期加速制御データ、前記複数の出射制御データ、前記複数のエネルギー変更制御データおよび前記複数の減速制御データを含めて、想定される複数の患者の照射条件に対応した全てのエネルギーのビーム出射を可能とする制御データをモジュールデータとして用意しておき、

特定の患者の照射条件が与えられたとき、前記モジュールデータの中から該当する制御データを選択して前記運転制御データを構成する

ことを特徴とする粒子線照射システムの運転方法。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 0 2

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 0 2】

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。イオンビーム照射法として、スキャニング照射法がある。

このスキャニング照射法で要求されるビームエネルギーの変更制御をイオンビーム発生装置としてシンクロトロンを採用した場合に短時間で実現する制御法として、特許文献 1、特許文献 2 および、非特許文献_1 に開示されているような、イオンシンクロトロンで一回の運転周期内で複数のエネルギーのイオンビームの照射を実現する多段出射制御運転がある。

また、患者の呼吸等による生理的活動により患部が時間的に移動する呼吸移動性臓器へのビーム照射法として、特許文献 3 および特許文献 4 に記載の照射法がある。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 0 6

【補正方法】変更

【補正の内容】**【0006】**

イオンビーム発生装置としてシンクロトロンを採用した場合、入射・加速・出射・減速といった一連の運転を一回の運転周期として制御する。スキャニング照射法のように、イオンビームのエネルギー変更制御を繰り返し実施する際には、シンクロトロンは運転周期の更新が必要なため、エネルギーの変更時間が掛かる課題があった。この対策として特許文献1および非特許文献1に示されるような一回の運転周期内で複数のエネルギーのビームを出射する多段出射運転が示されている。例えば、非特許文献1では、シンクロトロンで照射可能な全てのエネルギー範囲を一つに纏めた運転制御データを用意し、ビームを照射するエネルギーでのみフラットトップを延長してビームを出射することで、一回の運転制御で照射する全てのエネルギーのビームを患部に照射が可能となる。さらに、一回の運転制御で全てのエネルギーのビームが照射可能となるため、シンクロトロンは常に同じ運転制御データで照射が実現できるため、粒子線治療システムにおけるシンクロトロンの運転制御が簡素になる効果がある。

【手続補正4】**【補正対象書類名】明細書****【補正対象項目名】0007****【補正方法】変更****【補正の内容】****【0007】**

しかし、特許文献1および非特許文献1に示されている運転制御を効果的に実現するには、シンクロトロンの蓄積ビーム電荷量が、一回の運転周期で患部に照射する全てのエネルギーの照射に十分な電荷量であることが求められる。

例えば、シンクロトロンの加速制御時に何らかの原因で治療照射に必要な蓄積ビーム電荷量が得られなかつた場合、予め設定した照射エネルギー範囲の途中でシンクロトロン内の蓄積ビーム電荷量が枯渇してしまう。シンクロトロン内の蓄積ビーム電荷量が枯渇した場合には、イオンビームの照射を中断して出射制御から減速制御に遷移し、シンクロトロンの運転制御を更新する必要がある。シンクロトロンの運転制御データとして、シンクロトロンで照射可能な全てのエネルギー範囲を一つに纏めた運転制御データを適用した場合、設定値の連続性を担保するため当該出射エネルギーから減速制御に直接遷移できない。そのため、当該出射エネルギーから減速制御に至る間のエネルギー変更制御データの更新が必要となる。この当該出射エネルギーから減速制御へ遷移するための時間が、線量率を低下させ治療時間を短縮できない要因の一つに挙げられる。同様に、粒子線治療装置を構成する機器に異常が生じてイオンビームの照射を中断した場合にも、当該出射エネルギーから減速制御に直接遷移できない課題があった。

【手続補正5】**【補正対象書類名】明細書****【補正対象項目名】0009****【補正方法】変更****【補正の内容】****【0009】**

特許文献2では、加速器の磁場コイルに励磁するコイル電流に関して、経過時間に応じた磁束密度情報を出力する磁場基準発生部と、磁束密度情報に応じた磁場を発生させるコイル電流を求める電流基準変換部とを備えた加速器の制御装置が示されている。そして、磁場基準発生部が出力する磁束密度情報を4種類のパターン（初期上げパターン、減少パターン、増加パターン、終了パターン）を組み合わせて出力することで、一回の運転周期内で複数エネルギーのビーム出射を実現する制御方法が示されている。特許文献2によると、4種類の磁束密度パターンを組み合わせ、一回の運転周期内で複数エネルギーのイオンビームの出射が可能である。この機能に基づき、所定のSOPを形成するために必要な照射エネルギーを選択することができるが、一方で、4種類のパターンを選択し出力す

るタイミングは予めタイミング制御装置に書き込んでおくため、特許文献1および非特許文献1と同様に、イオンビームの照射を中断した場合に当該出射エネルギーから減速制御に直接遷移できず、当該出射エネルギーから減速制御に至る間のエネルギー変更制御データを更新しなければ減速制御（特許文献2でいう終了パターン）に遷移できない課題は解決されていない。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0014

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0014】

また、シンクロトロン内を周回しているビームが十分でなかった場合に減速制御に遷移する際には、特許文献1、特許文献2および非特許文献1と同様に、イオンビームの照射を中断した場合に、当該出射エネルギーから減速制御に直接遷移することができず、当該出射エネルギーから減速制御に至る間のエネルギー変更制御データを更新しなければ減速制御に遷移できない課題は解決されていない。

【手続補正7】

【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】

例えば、前記制御装置は、前記シンクロトロンからのビーム出射制御時に、前記出射許可判定手段から出力される出射許可判定信号に基づき、同一のエネルギーで複数回のビーム出射制御を実施する。

また、前記出射許可判定手段は、前記検知手段において、前記患部が出射許可範囲内にあるときに前記出射許可判定信号を出力し、前記患部が出射許可範囲内にないときは前記出射許可判定信号を出力しないよう制御する。

これにより、患者の生理的活動による患部の移動を検知してビーム照射が中断されても、同一エネルギーでのビーム照射が再開され、ビーム照射を効率的に実行することができる。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0050

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0050】

また、非特許文献1には、イオンシンクロトロンより出射する複数のエネルギーに対応して、エネルギー変更制御と出射制御からなる階段状の運転制御データ（非特許文献1の34頁、図2）を予め用意しておき、出射するイオンビームエネルギーに対応した出射制御部の運転制御データの平坦部を延長する運転（非特許文献1の35頁、図3）が示されている。

【手続補正9】

【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】

非特許文献1に記載されているように、複数のエネルギーの出射が可能な運転制御データをパターンデータとして予め用意する制御を適用した場合、全ての照射を完了するため

に必要なイオンビーム量がシンクロトロンに蓄積されている場合には、一回の運転周期で全てのエネルギーの照射が完了できる効果があるが、全ての照射を完了するために必要なイオンビーム量がシンクロトロンに蓄積されていない場合には、イオンビーム量が枯渇した時点で減速制御を実施した後に、運転周期を更新してイオンビーム 10 b の入射と加速を再度実施する必要がある。この際、イオンビームが枯渇したエネルギーの出射制御から減速制御に遷移するには、運転制御データの連続性を考慮する必要があるため、イオンビーム 10 b が枯渇したエネルギーよりも後段に記憶されている全てのエネルギー変更制御の運転制御データを更新する必要があり、当該運転制御データから減速制御に直接遷移できない。そのため、シンクロトロン 13 の運転周期の更新には時間が掛かる課題がある。粒子線照射システム 1 を構成する機器に異常が生じた場合にも、同様に、当該運転制御データから減速制御に直接遷移できない課題があった。

【手続補正 10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0062

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0062】

タイミング信号 51 の入力に対する運転制御データ 70 の更新制御について、図 3 を用いて説明する。

電源制御装置 45 は、加速制御開始タイミング信号 511 の入力により、入射エネルギー (E_{inj}) から初段の出射エネルギー (E_a) までの初期加速制御データ 701a を更新してビームを加速する。

出射条件設定タイミング信号 512 の入力により、出射条件設定データ 703a を更新する。

ビーム出射制御時には、偏向電磁石 18、四極電磁石 19、六極電磁石（図示せず）の励磁量および高周波加速空腔 17 に印加する高周波電圧は一定値で制御することで安定なビーム出射を実現するため、出射制御待機タイミング信号 513 の入力により、出射条件設定データ 703a の更新を停止し、出射条件解除タイミング信号 514 の入力まで待機する。シンクロトロン 13 からのビーム出射は、出射許可判定信号 355 の入力に基づき高周波スイッチ 21 を閉じることで、出射用高周波電極 20a に出射用高周波電圧を供給する。

ビーム出射制御の終了後に、減速ないしはエネルギー変更制御に遷移する場合には、出射条件を解除するため、出射条件解除タイミング信号 514 の入力により出射条件解除データ 704a の更新を開始する。

インターロックシステム 60 は、出射条件解除データ 704a の更新終了までに、シンクロトロン 13 内の蓄積ビーム量の検出結果 152 と、現在のエネルギーでの目標線量と照射線量の差分で示される残照射線量とに基づき、エネルギー変更タイミング信号 515 もしくは減速制御開始タイミング信号 516 のいずれを出力するかを選択する。インターロックシステム 60 の選択結果により、タイミングシステム 50 に対して、エネルギー変更タイミング信号 515 もしくは減速制御開始タイミング信号 516 の出力を指令する。

【手続補正 11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0066

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0066】

タイミングシステム 50 は、インターロックシステム 60 から出力されるエネルギー変更指令 615 に基づきエネルギー変更タイミング信号 515 を出力する。また、インターロックシステム 60 から出力される照射準備指令 612 に基づき出射条件設定タイミング信号 512 を出力する。また、インターロックシステム 60 から出力される照射停止指令

614に基づき出射条件解除タイミング信号514を出力する。また、減速制御指令616に基づき減速制御開始タイミング信号516を出力する。更に、出射許可判定手段354から出力される出射許可判定信号355に基づき、高周波スイッチ21に**ビーム出射**指令62を出力し、出射用高周波電極20aへの出射用高周波電圧の供給を制御する。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0080

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0080】

レイヤー内の線量が満了でない場合(Noの場合)、次のスポットを照射するのに十分な蓄積ビーム量があるか、蓄積ビーム量の残量を確認する(ステップS824)。蓄積ビーム量の残量が充分であれば(Yesの場合)、照射制御装置44は走査電磁石32の励磁量の変更によりビーム照射位置を変更し(ステップS825)、次のスポットに対してビーム照射を継続する。これに対し、蓄積ビーム量の残量が充分ないときは、ステップS819に処理を進め、インターロックシステム60はタイミングシステム50に対して照射停止指令614を出力し、タイミングシステム50から電源制御装置45に出射条件解除タイミング信号514を出力し、電源制御装置45は出射条件解除データ704を更新する(ステップS819)。

【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0084

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0084】

以上のような制御(ステップS813～ステップS820)を繰り返した後、インターロックシステム60はタイミングシステム50に減速制御指令616を出力し、タイミングシステム50は電源制御装置45に減速制御開始タイミング信号516を出力し、電源制御装置45は減速制御データ706の更新を開始する(ステップS821)。

次いで、減速制御データの更新が完了後、全レイヤーの照射が完了したか否かを確認する(ステップS822)。全レイヤーの照射が完了した場合(Yesの場合)は、シンクロトロン13の運転制御を終了する。また、未照射のレイヤーがある場合は、インターロックシステム60は機器の正常動作を確認した後、目標エネルギーを変更し、初期加速指令611を出力する(再びステップS809から処理を行う)。

【手続補正14】

【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】

まず、図7Aを用いて多段出射制御の出力例について説明する。

電源制御装置45は、タイミングシステム50から加速制御開始タイミング信号511が入力されると、初期加速データ701を選択し、励磁電流データ更新制御を開始する。

初期加速制御が終了すると、タイミングシステム50から出射条件設定タイミング信号512が電源制御装置45に入力される。電源制御装置45は、初段の出射エネルギーEaに対応した出射条件設定データ703aを出力する。

この後、出射制御待機タイミング信号513の入力により、電源制御装置45は最終更新値を保持し、出射制御が実施される。

出射制御が完了すると、タイミングシステム50から出射条件解除タイミング信号514が電源制御装置45に出力され、電源制御装置45は出射条件解除データ704aの更

新出力を開始する。

【手続補正15】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0089

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0089】

最後のエネルギーE_cの出射条件解除データ704cの更新制御が終了後、タイミングシステム50は、減速制御開始タイミング信号516を出力する。電源制御装置45は、減速制御開始タイミング信号516の入力に伴い、直前の出射条件解除データ704cに対応した減速制御データ706cを選択し、減速制御データの更新出力を開始する。

なお、本実施例の減速制御では、エネルギーを低い方から高い方にビームを出射する制御をしているため(E_a < E_b < E_c)、減速制御で最大エネルギー(E_{init})まで初期化励磁している。

【手続補正16】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0093

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0093】

減速制御終了タイミング信号517の入力に合わせて、全てのエネルギーの出射制御が完了しているかを確認する。全てのエネルギーの出射制御が完了していない場合は、引き続き、目標エネルギーをE_bからE_cに変更した上で、再び加速制御開始タイミング信号511を出力する。

【手続補正17】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0094

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0094】

加速制御開始タイミング信号511の入力により、初期加速制御データ701の更新を開始する。初期加速制御が終了後、到達エネルギーと目標エネルギーを比較する。この際、初期加速制御データ701の到達エネルギーはE_aであり、目標エネルギーはE_cであるため、ビームを更に加速する必要がある。このため、エネルギー変更制御タイミング信号515を出力する。電源制御装置45は、エネルギー変更制御タイミング信号515に基づき、エネルギー変更データ705abの更新し、エネルギー変更制御を実施する。エネルギー変更制御終了後、再び到達エネルギーと目標エネルギーを比較する。エネルギー変更制御後の到達エネルギーはE_bであり、目標エネルギーはE_cであるため、引き続き、エネルギー変更制御タイミング信号515を出力し、エネルギー変更制御データ705bcを更新する。このような制御を繰り返すことで、到達エネルギーを目標エネルギーと同じE_cまで加速する。その後は、上記に示した出射制御および減速制御と同じ制御を実施する。

【手続補正18】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0097

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0097】

図8(a)は患部位置検出手段35で観測された患部位置検出信号の時間変化を示しており、図8(b)は出射許可判定信号355の出力を示している。図8(b)の出射許可

判定信号 355 は、患部位置変化が安定な領域（図 8 (a) に示した点直線よりも低い領域）に患部位置がある場合にビームを照射することで、患部 37 への正確な照射を実現する。

図 8 (c) はインターロックシステム 60 から出力されるビーム出射指令 62 を示している。ビーム出射指令 62 は、シンクロトロン 13 の出射条件の設定状態と、出射許可判定信号 355 に基づいて出力される。

図 8 (d) はシンクロトロン 13 を構成する偏向電磁石 18 の運転制御データ 70ac と 70df を示しており、図 8 (e) はシンクロトロンを構成する四極電磁石 19 の運転制御データ 70ac と 70df を示している。図 8 (e) に示した四極電磁石 19 の運転制御データは、図 8 (d) に示した偏向電磁石 18 の運転制御データと異なり、シンクロトロン 13 の加速制御時の運転条件から出射制御時の運転条件に遷移する必要があるため、出射条件設定 703 および出射条件解除 704 で励磁量を変更している。

ここで、シンクロトロン 13 からビーム出射制御が可能な領域は、図 8 (d) および図 8 (e) において点線で示した区間であり、出射制御待機タイミング信号 513 から出射条件解除タイミング信号 514 の区間となる。

【手続補正 19】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0102

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0102】

レイヤー線量が満了したら、次のレイヤーに対応したビームエネルギー Eb に変更するため、出射条件解除、エネルギー変更、出射条件設定を実施する。

図 8 (e) に示したように、出射条件解除、エネルギー変更、出射条件設定では、四極電磁石 19 の励磁量を逐次変更することで、多段出射制御運転時にビーム損失を生じずに効率良く実現できる。

出射条件解除から出射条件設定の区間では、シンクロトロンからビーム出射制御は実施できないため、図 8 (a) に示すように出射許可判定信号 355 が ON であっても、ビーム出射指令 62 は OFF となる (901b) 。

【手続補正 20】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0103

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0103】

シンクロトロン 13 のエネルギー変更および出射条件設定が完了後、出射許可判定信号 355 が ON の領域でビーム出射指令 62 が ON となる (904c) 。

その際、患者の生理的現象等により、患部位置検出手段 35 で観測された患部位置に瞬時的な変動（図 8 (a) の 353a ）が生じた場合、出射許可判定信号 355 は瞬時に OFF となる。その後に患部 37 の位置がビーム照射許容範囲 353 に戻ったら出射許可判定信号 355 は ON となり、ビーム出射指令 62 も同期して変化する (902b 904d) 。

このように、図 6 に示した制御フローに従うことで、このような患者の生理的現象等による患部位置の瞬時的な変動に対しても、安定なビーム照射を実現できる。

その後、ビームエネルギーを Eb から Ec への変更制御を実施 (903a) した後、再びビーム出射指令 62 が ON となる (904e) 。

【手続補正 21】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0107

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0107】

以上のように本実施の形態では、シンクロトロン13を構成する機器やその制御手段(制御システム100)として、運転制御データ70を選択して電源46に更新出力する手段(電源制御装置45)と、シンクロトロン13からのビーム出射を制御する手段(タイミングシステム50)と、シンクロトロン13内を周回するビーム量(蓄積ビーム量)を検出する手段(蓄積ビーム量検出手段15,蓄積ビーム量計測手段151)と、患部37へ照射した線量を検出する手段(線量モニタ31)と、患部37へ照射する目標線量と実際に患部37へ照射した線量とから残照射線量を求める手段(照射制御装置44)と、患者36の生理的活動による患部37の移動を検知する手段(患部位置検出手段,透視画像取得手段351)と、この患部37の移動を検知する手段からの出力値に基づいて出射許可判定信号355を出力する手段(出射許可判定手段354)と、出射許可判定信号355,シンクロトロン13内の蓄積ビーム量の検出値,患部へ照射する残照射残量,シンクロトロン13からビーム出射制御が可能な状態を示す出射準備完了信号445に基づいてシンクロトロン13の運転制御を切り替える手段(インターロックシステム60)とを備える。

【手続補正22】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0116

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0116】

1 粒子線照射システム

100 制御システム(制御装置)

10a, 10b, 10c, 10d 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 ビーム輸送装置

15 蓄積ビーム量検出手段

151 蓄積ビーム量計測手段

152 蓄積ビーム量計測データ

16 高周波電極

17 高周波加速空腔

18 偏向電磁石

19 四極電磁石

20a 出射用高周波電極

20b 出射用デフレクター

21 高周波スイッチ

30 照射装置

31 線量モニタ

311 線量計測データ

32 走査電磁石

34 コリメータ

35 患部位置検出手段

351 透視画像取得手段

352 マーカ

353 ビーム照射許容範囲

354 出射許可判定手段

355 出射許可判定信号

3 6 患者
3 7 患部
3 7 1 患部位置検出マーク
3 8 出射許可判定手段
3 8 1 出射許可判定信号
4 0 加速器制御装置
4 0 1 各機器の制御データ
4 0 2 目標エネルギー到達信号
4 1 統括制御装置
4 1 1 制御データ
4 1 2 機器情報データ
4 2 記憶装置
4 2 1 照射情報データ
4 3 治療計画装置
4 3 1 治療計画情報
4 4 照射制御装置
4 4 1 出射制御許可信号
4 4 2 線量満了信号
4 4 3 エネルギー変更要求信号
4 4 4 減速制御要求信号
4 4 5 照射完了信号
4 5 電源制御装置
4 5 1 電源制御指令値
4 5 2 ステータス情報
4 6 電源
5 0 タイミングシステム
5 1 タイミング信号
5 1 1 加速制御開始タイミング信号
5 1 2 出射条件設定タイミング信号
5 1 3 出射制御待機タイミング信号
5 1 4 出射条件解除タイミング信号
5 1 5 エネルギー変更制御タイミング信号
5 1 6 減速制御開始タイミング信号
5 1 7 減速制御終了タイミング信号
6 0 インターロックシステム
6 1 インターロック信号
6 1 1 初期加速指令
6 1 2 照射準備指令
6 1 3 照射待機指令
6 1 4 照射停止指令
6 1 5 エネルギー変更指令
6 1 6 減速制御指令
6 1 7 照射完了指令
6 2 ビーム出射指令
7 0 運転制御データ
7 0 1 初期加速制御データ
7 0 2 出射制御データ
7 0 3 出射条件設定データ
7 0 4 出射条件解除データ
7 0 5 エネルギー変更制御データ

7 0 6 減速制御データ