

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6910823号
(P6910823)

(45) 発行日 令和3年7月28日 (2021.7.28)

(24) 登録日 令和3年7月9日 (2021.7.9)

(51) Int.Cl.

A 6 1 N 5/10 (2006.01)

F I

A 6 1 N 5/10

S

A 6 1 N 5/10

P

請求項の数 10 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2017-60056 (P2017-60056)
 (22) 出願日 平成29年3月24日 (2017.3.24)
 (65) 公開番号 特開2018-161264 (P2018-161264A)
 (43) 公開日 平成30年10月18日 (2018.10.18)
 審査請求日 令和2年3月24日 (2020.3.24)

(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 110001829
 特許業務法人開知国際特許事務所
 (72) 発明者 大久保 哲
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 株式会社日立製作所
 内
 (72) 発明者 一ノ瀬 祐治
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 株式会社日立製作所
 内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放射線治療システムおよび干渉判定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射線治療を行う放射線治療システムであって、
 標的に対して放射線を照射する治療装置と、
 前記治療装置の動作を制御する制御装置と、
 前記治療装置と患者又は前記治療装置同士の衝突を防止するための干渉判定装置と、を
 備え、

前記干渉判定装置は、

前記制御装置から前記治療装置の制御情報が入力されるとともに、前記治療装置に対
 して制御信号を出力する制御信号入出力部と、

前記患者を撮影するTOFカメラと、

前記TOFカメラで取得した深度データを利用して、前記患者を治療台に載せていな
 い時の計測データと前記患者を前記治療台に載せているときの計測データとの差分から患
 者の3Dモデルを作成する患者モデル作成部と、

前記治療装置の3Dモデル、治療室の3Dモデル、および前記患者の3Dモデルの各
 3Dモデルを格納する3Dデータベースと、

前記治療装置の移動開始前に、前記3Dモデルを仮想空間上に実空間と同様に配置し
 、前記制御信号に基づき仮想空間上で前記3Dモデルを目標位置まで移動させることで前
 記治療装置と前記患者との衝突、および前記治療装置同士の衝突の有無を判定する干渉判
 定シミュレーションを行う干渉計算部と、を備えた

10

20

ことを特徴とする放射線治療システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の放射線治療システムにおいて、

前記干渉計算部は、前記治療装置の 3 D モデルとその他の 3 D モデルとの最短距離を判定対象距離として、前記判定対象距離が予め定められた操作許可インターロック閾値以下であるか否かを判定し、前記判定対象距離が前記操作許可インターロック閾値以下であると判定された場合は操作不許可信号を前記制御装置に出力する

ことを特徴とする放射線治療システム。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の放射線治療システムにおいて、

前記干渉計算部は、前記 3 D モデル同士の距離が予め定められた操作許可インターロック閾値より大きい減速インターロック閾値以下となる位置を解析し、前記治療装置が移動中に前記減速インターロック閾値以下となる位置に達した時は減速信号を前記制御装置に出力する

ことを特徴とする放射線治療システム。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の放射線治療システムにおいて、

前記干渉計算部は、前記治療装置の移動中にリアルタイムで、前記 3 D モデル同士の距離が予め定められた操作許可インターロック閾値より大きい減速インターロック閾値以下であるか否かを判定し、前記減速インターロック閾値以下であると判定されたときは減速信号を前記制御装置に出力する

ことを特徴とする放射線治療システム。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の放射線治療システムにおいて、

前記仮想空間上の 3 D モデル、および干渉判定結果を表示する干渉判定結果表示装置を更に備えた

ことを特徴とする放射線治療システム。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の放射線治療システムにおいて、

前記治療装置の変形を常時監視する 3 次元計測部を更に備え、

前記干渉計算部は、前記 3 次元計測部で計測された変形量のデータを利用して前記 3 D モデルを補正して干渉判定シミュレーションを行う

ことを特徴とする放射線治療システム。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の放射線治療システムにおいて、

前記干渉計算部は、前記治療装置の移動要求信号の入力を受けた後、かつ前記治療装置の移動開始前に前記干渉判定シミュレーションを行う

ことを特徴とする放射線治療システム。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の放射線治療システムにおいて、

前記患者モデル作成部で算出した差分データおよび作成した前記患者の 3 D モデルを表示する表示装置を更に備えた

ことを特徴とする放射線治療システム。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の放射線治療システムにおいて、

前記表示装置で表示された前記患者の 3 D モデルとデフォルトの患者の 3 D モデルとのいずれのモデルを用いて干渉判定シミュレーションを行うかを選択する選択部を更に備えた

ことを特徴とする放射線治療システム。

【請求項 10】

放射線治療を行う放射線治療システムを構成する機器のうち、移動可能に構成された治

10

20

30

40

50

療装置および患者、または前記治療装置同士の衝突を防止する干渉判定装置であって、

前記治療装置の制御情報が入力されるとともに、前記治療装置に対して制御信号を出力する制御信号入出力部と、

前記患者を撮影するＴＯＦカメラと、

前記ＴＯＦカメラで取得した深度データを利用して、前記患者を治療台に載せていない時の計測データと前記患者を前記治療台に載せているときの計測データとの差分から患者の３Ｄモデルを作成する患者モデル作成部と、

前記治療装置の３Ｄモデル、治療室の３Ｄモデル、および前記患者の３Ｄモデルの各３Ｄモデルを格納する３Ｄデータベースと、

前記治療装置の移動開始前に、前記３Ｄモデルを仮想空間上に実空間と同様に配置し、前記制御信号に基づき仮想空間上で前記３Ｄモデルを目標位置まで移動させることで前記治療装置と前記患者との衝突、および前記治療装置同士の衝突の有無を判定する干渉判定シミュレーションを行う干渉計算部と、を備えた

ことを特徴とする干渉判定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、陽子線、重粒子線等の粒子線やＸ線などの放射線を患者の患部に照射して治療を行う放射線治療システムに好適な、治療装置と患者または治療装置同士が物理的に衝突することを防止する干渉判定装置に関するものである。

【背景技術】

【０００２】

放射線治療装置の稼働範囲を最大限に利用した治療を可能にする衝突防止インターロック装置の一例として、特許文献１には、治療装置の３Ｄモデルおよび患者３Ｄモデルを仮想空間に配置し、制御情報に基づいて動作する装置の３Ｄモデルと患者３Ｄモデルとの衝突、および装置の３Ｄモデル間の衝突の有無を判定するシミュレーションを実行する衝突判定シミュレータとを備え、衝突判定シミュレータは、判定対象の３Ｄモデル間の距離を判定対象距離とし、この判定対象距離がインターロック閾値以下かを判定するインターロック判定部と、判定対象距離がインターロック閾値以下の場合に、装置の動作を停止させる情報を生成し、この情報を治療装置制御部にインターロック情報として出力するインターロック情報生成部とを有する衝突防止インターロック装置が記載されている。

【０００３】

また、荷電粒子線照射装置において、患者を載置台に載置させてから治療が終わるまでの時間を短縮させることが可能な干渉判定装置の一例として、特許文献２には、患者が載置される患者ベッドの周りに可動に配置され陽子線を照射するノズルを有する陽子線治療装置と通信可能とされ、陽子線治療装置とは独立して作動し、ノズルの動きに関する情報である動作情報と、患者ベッドおよびノズルの位置に関する情報である位置情報とに基づいて、ノズルと、患者および患者ベッドとの干渉の有無を判定する干渉判定端末を備える干渉判定装置が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

【特許文献１】特開２０１４－１２８３５２号公報

【特許文献２】特開２０１２－１０７５９号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

日本において死亡原因の第一位はがんであり、死亡者数は増加の一途を辿っている。医療の質（Quality of life : QOL）の向上が求められる近年の日本では、その治療法として放射線がん治療が注目を集めている。ニーズとしてのQOL向上

10

20

30

40

50

に、シーズである放射線がん治療技術の高精度化があいまって、日本においても広く放射線がん治療が普及し始めている。

【 0 0 0 6 】

治療に用いられる放射線には、X線、電子線、陽子線、重粒子線、中性子線等の各種放射線があるが、特に近年、陽子線や重粒子線を用いる治療システムの開発が目覚ましい。

【 0 0 0 7 】

ガン等の患者に陽子や炭素イオン等の荷電粒子ビーム（以下適宜ビームという）を照射する粒子線治療では、患部に対してピンポイントに照射を行い、かつ患部以外の臓器を避けて照射を行うために治療システム内の複数の治療装置が複雑に動く。そのため、治療装置と患者、もしくは治療装置同士が物理的に衝突しないような仕組みが求められる。

10

【 0 0 0 8 】

これに対して、上述したように粒子線治療では、治療装置と患者、または治療装置同士の衝突を避けるために、治療装置と患者又は治療装置同士が衝突する可能性が高いと判定された場合に、治療装置の駆動を停止する干渉判定装置を設けて衝突防止インターロック処理を実施している。

【 0 0 0 9 】

上述の特許文献 1 では、仮想空間上に治療装置と患者の 3 D モデルを配置し、制御情報を基に 3 D モデルを移動させ、リアルタイム処理でモデル間距離を計算している。モデル間距離がインターロック閾値以下まで近づいたときに治療装置の駆動を停止するとともに警告音を発することで衝突防止を行っている。

20

【 0 0 1 0 】

しかしこの特許文献 1 に記載の技術では、治療装置停止のためのシミュレーションをリアルタイム（治療装置移動中）で行うため、治療装置を動かした後に干渉があることが判明することになる。しかし、これでは、干渉を避けるために治療装置を退避させる必要が生じ、スループットの低下につながるものが本発明者らの検討によって明らかとなった。また、衝突位置の直前で停止信号を出力する際に伝送遅れなどが生じた場合であっても衝突が生じないように伝送遅れも考慮してインターロック閾値を設定することが考えられる。しかし、その場合、その分だけ治療装置の駆動範囲を余計に制限することになるため、スループットが低下してしまうことになる、との問題が生じることも明らかとなった。さらには、放射線治療システムに用いるビーム照射用のガントリはその重量が 1 0 0 トン近く

30

【 0 0 1 1 】

また、特許文献 2 に記載の技術では、C T 画像から患者体型データを取得して患者モデルを作成し、治療計画時の干渉判定に用いている。しかし、特許文献 2 の技術では C T 画像を利用しているが、C T 画像は患者の一部分しか撮像しない可能性が高い、との問題がある。そのため、C T 画像を利用しての患者モデル生成では患者の全身を反映することができない可能性があり、患者体型の過大評価もしくは過小評価が起こりうるため、干渉判定の精度の向上を図る余地があることが本発明者らの検討によって明らかとなった。

【 0 0 1 2 】

本発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、従来よりスループットの高い治療を高い精度で行うことが可能な干渉判定装置および放射線治療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 3 】

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、放射線治療を行う放射線治療システムであって、標的に対して放射線を照射する治療装置と、前記治療装置の動作を制御する制御装置と、前記治療装置と患者又は前記治療装置同士の衝突を防止するための干渉判定装置と、を備え、前記干渉判定装置は、前記制御装置から前記治療装置の制御情報が入力されるとともに、前記治療装置に対して制御信号を出力

50

する制御信号入出力部と、前記患者を撮影するＴＯＦカメラと、前記ＴＯＦカメラで取得した深度データを利用して、前記患者を治療台に載せていない時の計測データと前記患者を前記治療台に載せているときの計測データとの差分から患者の３Ｄモデルを作成する患者モデル作成部と、前記治療装置の３Ｄモデル、治療室の３Ｄモデル、および前記患者の３Ｄモデルの各３Ｄモデルを格納する３Ｄデータベースと、前記治療装置の移動開始前に、前記３Ｄモデルを仮想空間上に実空間と同様に配置し、前記制御信号に基づき仮想空間上で前記３Ｄモデルを目標位置まで移動させることで前記治療装置と前記患者との衝突、および前記治療装置同士の衝突の有無を判定する干渉判定シミュレーションを行う干渉計算部と、を備えたことを特徴とする。

【００１４】

10

また、他の一例をあげるならば、放射線治療を行う放射線治療システムを構成する機器のうち、移動可能に構成された治療装置および患者、または前記治療装置同士の衝突を防止する干渉判定装置であって、前記治療装置の制御情報が入力されるとともに、前記治療装置に対して制御信号を出力する制御信号入出力部と、前記患者を撮影するＴＯＦカメラと、前記ＴＯＦカメラで取得した深度データを利用して、前記患者を治療台に載せていない時の計測データと前記患者を前記治療台に載せているときの計測データとの差分から患者の３Ｄモデルを作成する患者モデル作成部と、前記治療装置の３Ｄモデル、治療室の３Ｄモデル、および前記患者の３Ｄモデルの各３Ｄモデルを格納する３Ｄデータベースと、前記治療装置の移動開始前に、前記３Ｄモデルを仮想空間上に実空間と同様に配置し、前記制御信号に基づき仮想空間上で前記３Ｄモデルを目標位置まで移動させることで前記治療装置と前記患者との衝突、および前記治療装置同士の衝突の有無を判定する干渉判定シミュレーションを行う干渉計算部と、を備えたことを特徴とする。

20

【発明の効果】

【００１５】

本発明によれば、治療装置を効率的に移動させることができ、従来よりスルーボットの高い治療を高い精度で行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【００１６】

【図１】本発明の実施形態１による干渉判定装置を含む放射線治療システムのブロック図である。

30

【図２】図１に示す干渉判定装置のハードウェア構成の概略を示す図である。

【図３】図１に示す放射線治療システムのうち、主に治療装置の構成の概略を示す図である。

【図４】図１に示す放射線治療システムの照射装置の概略構成を示す図である。

【図５】図１に示す干渉判定装置による干渉判定の概要を示す図である。

【図６】本発明の実施形態１の干渉判定装置のフローチャート図である。

【図７】本発明の実施形態２の放射線治療システムの干渉判定装置のフローチャート図である。

【図８】本発明の実施形態３の放射線治療システムの干渉判定装置のフローチャート図である。

40

【図９】本発明の実施形態４の放射線治療システムのブロック図である。

【図１０】本発明の実施形態５の放射線治療システムのブロック図である。

【図１１】本発明の実施形態６の放射線治療システムのブロック図である。

【図１２】本発明の実施形態７の放射線治療システムのブロック図である。

【図１３】本発明の実施形態８の放射線治療システムのブロック図である。

【図１４】本発明の実施形態９の放射線治療システムのブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【００１７】

以下に本発明の放射線治療システムおよび干渉判定装置の実施形態を、図面を用いて説明する。

50

【 0 0 1 8 】

本発明は、X線治療システムや陽子を標的に照射する陽子線治療システム、例えば炭素やヘリウム等の重粒子を標的に照射する重粒子線治療システムなどの放射線治療システムであり、以下の各実施形態では、照射する放射線として陽子を用いる陽子線治療システムを例にして説明する。

【 0 0 1 9 】

< 実施形態 1 >

本発明の陽子線治療システムおよび干渉判定装置の実施形態 1 を、図 1 乃至図 6 を用いて説明する。最初に、干渉判定装置を含む陽子線治療システムの全体構成やその機能について図 1 および図 2 を用いて説明する。

10

【 0 0 2 0 】

図 1 は本発明の干渉判定装置および陽子線治療システムのブロック図であり、図 2 は干渉判定装置のハードウェア構成である。

【 0 0 2 1 】

図 1 において、粒子線治療を行うための陽子線治療システム 100 は、干渉判定装置 40 と、治療装置操作部 3f と、治療装置制御部 3A と、治療装置 60 とを備える。

【 0 0 2 2 】

図 1 において、干渉判定装置 40 は、治療装置 60 のうち、回転ガントリ 20 および治療台 62（各々図 3 参照）と患者 61（図 3 参照）又は治療装置 60 同士（回転ガントリ 20 と治療台 62 等）の衝突を防止するための判定を行うための装置であり、干渉計算部 41 と、3Dモデル保存部 42 と、制御信号入出力部 43 とを備える。

20

【 0 0 2 3 】

干渉計算部 41 は、干渉判定の解析を行うソフトウェア機能であり、図 2 に示す、干渉判定装置 40 内に実装された CPU 44 上に構築される。干渉計算部 41 は、治療装置 60 の移動開始前に、治療装置 60 の 3Dモデル（回転ガントリモデル、照射ノズルモデル、治療台モデル、治療室内に設置されたX線撮像モデルやC B C T（C o n e B e a m C T）モデル等）およびデフォルトの患者 3Dモデルを、治療室を模した仮想空間上に実空間と同様に配置する。また、治療装置制御部 3A からの治療装置 60 の動作の制御情報に基づいて、仮想空間上で治療装置 60 の 3Dモデルを目標位置まで移動させ、治療装置 60 の 3Dモデルと患者 61 の 3Dモデルとの衝突の有無、治療装置 60 の 3Dモデル同士の衝突の有無を判定する干渉判定シミュレーションを実行する。この干渉判定シミュレーションにおいては、各 3Dモデルの移動経路での各 3Dモデル間の最短距離（判定対象距離）を計算して、この最短距離が装置の設計時、製造時もしくは設置時に予め定められた操作許可インターロック閾値以下であるか否かを判定し、最短距離が操作許可インターロック閾値以下であると判定された場合は操作不許可信号を治療装置制御部 3A に対して出力する。

30

【 0 0 2 4 】

3Dモデル保存部 42 には、干渉計算に必要となる全ての治療装置の 3Dモデル、患者 61 のモデルとしてデフォルトの 3Dモデル、および治療室の 3Dモデルの各 3Dモデルが格納されており、図 2 に示すように、記憶装置 45 上に構築されたものである。

40

【 0 0 2 5 】

制御信号入出力部 43 は、治療装置制御部 3A と制御情報をやり取りするインターフェース部であり、図 2 に示す、入出力装置 46 に対応している。制御信号入出力部 43 は、治療装置制御部 3A から治療装置 60 を構成する各機器の動作に関する各種制御情報を干渉判定装置 40 内に入力し、治療装置 60 に対する操作不許可信号などの各種制御信号を治療装置制御部 3A に対して出力する。

【 0 0 2 6 】

干渉計算部 41 は、3Dモデル保存部 42、制御信号入出力部 43 と接続されており、治療装置制御部 3A は制御信号入出力部 43 と治療装置 60 と接続している。

【 0 0 2 7 】

50

治療装置操作部 3 f は、操作者が治療装置 6 0 の各種操作を行うための入力インターフェースである。

【 0 0 2 8 】

次に、治療装置制御部 3 A と、治療装置 6 0 の概略について図 3 を用いて説明する。図 3 は図 1 に示す治療装置 6 0 の一例である陽子線の治療装置の概略構成図である。

【 0 0 2 9 】

図 3 において、陽子線治療システム 1 0 0 は治療室内の治療台 6 2 に固定された患者 6 1 の患部（標的）6 1 a に陽子線を照射して治療を施すものであり、患部 6 1 a に対して陽子線を照射する治療装置 6 0 と、制御システム 3 とからなる。治療装置 6 0 は、荷電粒子ビーム発生装置 1、高エネルギービーム輸送系 1 3、回転照射装置 2 1、照射装置 2 0 および治療室内に配置された治療台 6 2 とから構成される。

10

【 0 0 3 0 】

荷電粒子ビーム発生装置 1 は、イオン源（図示省略）、前段加速器 5（例えば、線形加速器等の線形荷電粒子ビーム発生装置）およびシンクロトロン（加速器）2 を有する。シンクロトロンは高周波加速装置 1 4 を有する。

【 0 0 3 1 】

高エネルギービーム輸送系 1 3 は、荷電粒子ビーム発生装置 1 下流に接続されており、荷電粒子ビーム発生装置 1 から出射された荷電粒子ビームを更に下流まで輸送する。高エネルギービーム輸送系 1 3 は、シンクロトロン 2 から出射された荷電粒子ビームを曲げる偏向電磁石 1 1 a、荷電粒子ビームのサイズ調整を行なう四極電磁石 1 2 a、荷電粒子ビームの位置を計測するビーム位置モニタ 2 2 a、および荷電粒子のビーム位置を補正するステアリング電磁石 1 7 a より構成される。

20

【 0 0 3 2 】

高エネルギービーム輸送系 1 3 の下流に接続された回転照射装置 2 1 や、その回転照射装置 2 1 に接続された荷電粒子ビームを患者の患部に照射する照射装置、例えば回転ガントリ 2 0 は、回転機構を持った架台に設置されている。

【 0 0 3 3 】

回転照射装置 2 1 は、高エネルギービーム輸送系 1 3 によって輸送された荷電粒子ビームを曲げる偏向電磁石 1 1 b、荷電粒子ビームのサイズ調整を行なう四極電磁石 1 2 b、荷電粒子ビームの位置を計測するビーム位置モニタ 2 2 b、ビーム位置を補正するステアリング電磁石 1 7 b、および回転照射装置 2 1 の回転角度を測定し、回転照射装置 2 1 の回転角度を制御システム 3 に送信する回転照射装置角度検出装置 2 3 により構成される。

30

【 0 0 3 4 】

回転ガントリ 2 0 は、回転照射装置 2 1 と共に架台によって患者周りに回転可能であり、回転中心に治療台 6 2 が設置されている。図 4 に照射装置の代表例であるスキャニング装置の概略を示す。

【 0 0 3 5 】

図 4 に示すように、回転ガントリ 2 0 の一例であるスキャニング装置は、走査電磁石 2 0 a、ビーム位置モニタ 2 0 c、ビーム位置計測装置 2 0 e、ビーム線量モニタ 2 0 d、ビーム線量計測装置 2 0 f、および信号処理装置 3 0 からなる。

40

【 0 0 3 6 】

走査電磁石 2 0 a は、回転照射装置 2 1 により輸送された荷電粒子ビームを患部形状に合わせて走査する。ビーム位置モニタ 2 0 c は、荷電粒子ビームの位置を検出する。ビーム位置計測装置 2 0 e は、ビーム位置モニタ 2 0 c からの信号を計測する。ビーム線量モニタ 2 0 d は、荷電粒子ビームの線量を検出する。ビーム線量計測装置 2 0 f は、ビーム線量モニタ 2 0 d からの信号を計測する。信号処理装置 3 0 は、ビーム位置計測装置 2 0 e、およびビーム線量計測装置 2 0 f の信号を処理する。信号処理装置 3 0 から送られた計測データは制御システム 3 に送られ記録される。

【 0 0 3 7 】

図 3 に戻り、制御システム 3 は、図 1 における治療装置制御部 3 A、治療装置操作部 3

50

f、干渉判定装置40から構成される。図1における治療装置制御部3Aは、図3に示す統括制御装置3aと、加速器制御装置3bと、照射制御装置3cと、ガントリ制御装置3dと、治療台制御装置3eと、インターロック装置4とから構成される。

【0038】

統括制御装置3aは、後述する加速器制御装置3b、照射制御装置3cおよびインターロック装置4に対して各種制御信号を出力し、治療装置60の全体動作の制御を実行する。加速器制御装置3bは、統括制御装置3aの指令に基づきシンクロトロン2、高エネルギービーム輸送系13および回転照射装置21を制御する。照射制御装置3cは、統括制御装置3aの指令に基づき回転ガントリ20を制御する。ガントリ制御装置3dは、照射制御装置3cの指令に基づき、回転照射装置21および回転ガントリ20を制御する。治療台制御装置3eは、照射制御装置3cの指令に基づき治療台62を制御する。インターロック装置4は、統括制御装置3a、加速器制御装置3b、照射制御装置3c、およびガントリ制御装置3dの安全を監視し、緊急の際に緊急停止のための制御信号を各制御装置に対して出力することで患者61の安全を担保するための装置である。

10

【0039】

治療装置60では、イオン源で発生させた陽子イオンを前段加速器5で加速する。前段加速器5で加速された陽子イオンは、シンクロトロン2内で、設定された所定エネルギー（例えば50MeV～250MeV）まで高周波加速装置14によって更に加速され、所定のエネルギーとなった後にシンクロトロン2から高エネルギービーム輸送系13へと出射される。

20

【0040】

シンクロトロン2より出射された荷電粒子ビームは高エネルギービーム輸送系13によってより更に下流側へと輸送され、回転照射装置21、回転ガントリ20を介して治療台62上の患者61内の患部61aに照射される。

【0041】

次に、干渉判定装置40による干渉判定処理の概要について図5を用いて説明する。図5に干渉判定の概要を示す。この図5では、干渉判定する対象の治療装置60を、回転ガントリ20と治療台62の2つとする。

【0042】

図5において、干渉判定装置40の干渉計算部41は、システムの起動時に、仮想空間上に、回転ガントリ20、治療台62、および患者61の3Dモデルを治療室と同様の配置で配置する。

30

【0043】

干渉判定装置40の制御信号入出力部43は、制御システム3の治療装置制御部3A内のガントリ制御装置3dからガントリの現在位置情報、目標位置情報および操作速度を受信し、治療台制御装置3eから治療台62の現在位置情報、目標位置情報および操作速度を受信する。

【0044】

干渉判定装置40の干渉計算部41は、これらの各種制御情報に基づき、統括制御装置3aから出力される移動要求信号をトリガとして、各3Dモデルを仮想空間上で移動させて、回転ガントリ20と治療台62との干渉状態、または回転ガントリ20や治療台62と患者61との干渉状態を解析する。そして、解析結果に基づき干渉が生じると判定されたときは、治療装置60、特に回転ガントリ20や治療台62に対する操作不許可信号を出力する。操作不許可信号は統括制御装置3aへと出力され、統括制御装置3aはガントリ制御装置3dや治療台制御装置3eへと操作禁止指令を出力する。

40

【0045】

次に、干渉判定装置40による干渉判定処理の流れについて図6を用いて説明する。図6は、本発明の実施形態1による干渉判定装置のフローチャートである。

【0046】

図6に示すように、干渉判定装置40の処理は、S001～S006、S009の処理

50

から構成され、干渉計算部 4 1 によって実行される。

【 0 0 4 7 】

図 6 において、最初に、ステップ S 0 0 1 にて、治療装置操作部 3 f によって操作者が治療装置 6 0 の移動開始ボタンを押下した際に出力される移動要求信号が制御信号入出力部 4 3 へ入力されたか否かを判定する。入力されたと判定されたときは処理をステップ S 0 0 2 へ移行し、入力されていないと判定されたときは再度ステップ S 0 0 1 の判定を実行し、移動要求信号の入力待ちを行う。

【 0 0 4 8 】

移動要求信号が入力された場合、ステップ S 0 0 2 に進み、治療装置 6 0 の駆動前に、治療装置 6 0 の各種制御情報（現在位置、目標位置、設定速度）から、治療装置 6 0 の現在位置から目標位置までの軌道における干渉の有無、および治療装置 6 0 と患者および治療装置 6 0 間の最短距離を算出する。現在位置は治療装置 6 0 のデータを取得し、治療装置制御部 3 A から制御信号入出力部 4 3 へと出力される。目標位置、設定速度の制御情報は治療装置操作部 3 f を用いて操作者によって入力され、治療装置制御部 3 A から制御信号入出力部 4 3 へと出力される。最短距離の算出は、実際の軌道と同様に治療装置の 3 D モデルを配置し、その各点で治療装置 6 0 同士もしくは治療装置 6 0 と患者 6 1 との距離を算出することで行う。

【 0 0 4 9 】

次いで、ステップ S 0 0 3 にて、ステップ S 0 0 2 で算出された最短距離を操作許可インターロック閾値と比較し、最短距離が操作許可インターロック閾値以下か否かを判定する。最短距離が操作許可インターロック閾値以下であると判定されたときは処理をステップ S 0 0 4 へ移行し、最短距離が操作許可インターロック閾値より大きいと判定されたときは処理をステップ S 0 0 5 へ移行する。

【 0 0 5 0 】

最短距離が操作許可インターロック閾値以下と判定された場合は、ステップ S 0 0 4 にて、制御信号入出力部 4 3 を介して統括制御装置 3 a に操作不許可信号を出力することで衝突を防止する。

【 0 0 5 1 】

これに対し、最短距離が操作許可インターロック閾値より大きいと判定された場合は、ステップ S 0 0 5 にて、制御信号入出力部 4 3 を介して統括制御装置 3 a に操作許可信号を出力する。

【 0 0 5 2 】

次いで、ステップ S 0 0 6 にて、統括制御装置 3 a は操作許可信号に基づきガントリ制御装置 3 d や治療台制御装置 3 e へと治療装置 6 0 の移動指令を出力する。

【 0 0 5 3 】

移動指令出力後、ステップ S 0 0 9 にて、移動する治療装置 6 0 が目標位置に到達したか、又は操作が終了したか否かを判定する。目標位置到達又は操作終了であると判定されたときは処理を終了し、目標位置到達又は操作終了でないと判定されたときは所定時間経過後に再度ステップ S 0 0 9 の判定を実行し、目標位置に到達するか、操作終了まで処理を継続する。

【 0 0 5 4 】

次に、本実施形態の効果について説明する。

【 0 0 5 5 】

上述した本発明の実施形態 1 の陽子線治療を行う陽子線治療システム 1 0 0 は、患部 6 1 a に対して陽子線を照射する治療装置 6 0 と、治療装置 6 0 の動作を制御する治療装置制御部 3 A と、治療装置 6 0 と患者 6 1 又は治療装置 6 0 同士の衝突を防止するための干渉判定装置 4 0 と、を備えたものである。そのうち、干渉判定装置 4 0 は、治療装置制御部 3 A から治療装置 6 0 の制御情報が入力されるとともに、治療装置 6 0 に対して制御信号を出力する制御信号入出力部 4 3 と、治療装置 6 0 の 3 D モデル、治療室の 3 D モデル、および患者 6 1 の 3 D モデルの各 3 D モデルを格納する 3 D モデル保存部 4 2 と、治療

10

20

30

40

50

装置 60 の移動開始前に、3Dモデルを仮想空間上に実空間と同様に配置し、制御信号に基づき仮想空間上で3Dモデルを目標位置まで移動させることで治療装置 60 と患者 61 との衝突、および治療装置 60 同士の衝突の有無を判定する干渉判定シミュレーションを行う干渉計算部 41 と、を備えたものである。

【0056】

これによって、実際に治療装置 60 を移動させる前に治療装置 60 と患者 61 との干渉、および治療装置 60 同士干渉の有無が判定できるため、治療装置 60 の手戻りを最小限に抑えることができ、従来に比べて治療のスループットの向上を図ることができる。また、実際に治療装置 60 を移動させる前であることから、伝送遅れなどが生じることがないため、衝突が避けられなくなる可能性がある、との問題も生じること防止することができる。このため、伝送遅れを考慮したインターロック閾値を設定する必要もなく、スループットの低下を招くこともない、との効果が得られる。更には、重量が約 100 トンで急減速に向かない、ビーム照射用ガントリの急減速を避けることができるため、装置の長寿命化を図ることも可能である、との効果も奏する。そのうえ、治療装置 60 の 3Dモデル、治療室の 3Dモデル、および患者 61 の 3Dモデルを用いて干渉の有無を判定することから、干渉判定の精度の向上を図ることができる。

10

【0057】

また、干渉計算部 41 は、治療装置 60 の 3Dモデルとその他の 3Dモデルとの最短距離を判定対象距離として、判定対象距離が予め定められた操作許可インターロック閾値以下であるか否かを判定し、判定対象距離が操作許可インターロック閾値以下であると判定された場合は操作不許可信号を治療装置制御部 3A に出力するため、スループットのより高い治療を行うことが可能となる。

20

【0058】

更に、干渉計算部 41 は、治療装置 60 の移動要求信号の入力を受けた後、かつ治療装置 60 の移動開始前に干渉判定シミュレーションを行う。ここで、定周期で干渉の解析を行う場合、解析終了待ちのために移動要求入力から治療装置 60 の移動開始までに、1 周期にかかる時間以上の待ち時間を設ける必要がある。しかし本実施形態の干渉判定装置 40 の干渉計算部 41 では、移動要求が来てから解析を始めることで、待ち時間を必要最低限にすることができる。さらに、必要な時のみ解析処理を実施するため、CPU 負荷率を低減できる、との効果が得られる。

30

【0059】

<実施形態 2>

本発明の実施形態 2 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置を図 7 を用いて説明する。実施形態 1 と同じ構成には同一の符号を示し、説明は省略する。以下の実施形態においても同様とする。

【0060】

実施形態 1 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置では、治療装置 60 の移動前に治療装置 60 の現在位置から目標位置までの軌道上の干渉の有無を計算し、干渉があるときは治療装置 60 の操作を禁止する態様について述べた。これに対し、本実施形態 2 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置では、操作許可インターロック閾値とは別に減速インターロック閾値を別途設けて、治療装置 60 の移動前に減速開始位置を算出し、その位置から減速を開始する。

40

【0061】

本実施形態の陽子線治療システムおよび干渉判定装置の構成および動作は、干渉判定装置の干渉計算部の構成および動作以外は前述した実施形態 1 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置と略同じ構成・動作であり、詳細は省略する。

【0062】

本実施形態の干渉判定装置の干渉計算部は、更に、3Dモデル同士の距離が予め定められた操作許可インターロック閾値より大きい減速インターロック閾値以下となる位置を解析し、治療装置が移動中に減速インターロック閾値以下となる位置に達した時は減速信号

50

を治療装置制御部 3 A に出力する。

【 0 0 6 3 】

次に、本実施形態の干渉判定装置の干渉判定処理の流れについて図 7 を用いて説明する。図 7 は、実施形態 2 による干渉判定装置のフローチャートである。

【 0 0 6 4 】

図 7 において、最初のステップ S 0 0 1 の処理は、実施形態 1 の処理と同じである。

【 0 0 6 5 】

次いで、ステップ S 0 0 2 A に進み、治療装置 6 0 の駆動前に、治療装置 6 0 の各種制御情報（現在位置、目標位置、設定速度）から、治療装置 6 0 の現在位置から目標位置までの軌道における干渉の有無、および治療装置 6 0 と患者および治療装置 6 0 間の最短距離を算出するとともに、治療装置 6 0 と患者 6 1 および治療装置 6 0 間の最短距離が減速インターロック閾値と一致する位置を算出する。

10

【 0 0 6 6 】

次いで、ステップ S 0 0 3 にて、ステップ S 0 0 2 で算出された最短距離を操作許可インターロック閾値と比較し、治療装置 6 0 と患者 6 1 および治療装置 6 0 間の最短距離が操作許可インターロック閾値以下である場合は、実施形態 1 と同様のステップ S 0 0 4 の処理を行う。

【 0 0 6 7 】

これに対し、最短距離が操作許可インターロック閾値より大きいと判定された場合は、ステップ S 0 0 3 A に処理を進める。ステップ S 0 0 3 A では、治療装置 6 0 と患者 6 1 および治療装置 6 0 間の最短距離と減速インターロック閾値とを比較し、最短距離が減速インターロック閾値以下か否かを判定する。

20

【 0 0 6 8 】

このステップ S 0 0 3 A において最短距離が減速インターロック閾値より大きいと判定された、すなわち治療装置と患者および治療装置間の最短距離が減速インターロック閾値と一致する位置が存在しない場合は、処理をステップ S 0 0 5 へ移行し、実施形態 1 と同様に治療装置 6 0 を通常通り移動させるステップ S 0 0 5 , S 0 0 6 , S 0 0 9 の処理を実行する。これに対し、最短距離が減速インターロック閾値以下であると判定されたときは処理をステップ S 0 0 5 A へ移行する。

【 0 0 6 9 】

30

ステップ S 0 0 5 A では、最短距離が減速インターロック閾値と一致する位置を減速開始位置として記録し、治療装置 6 0 へ操作許可信号を出力する。

【 0 0 7 0 】

次いで、ステップ S 0 0 6 A にて、統括制御装置 3 a は操作許可信号に基づきガントリ制御装置 3 d や治療台制御装置 3 e へと治療装置 6 0 の移動指令を出力する。

【 0 0 7 1 】

移動指令出力後、治療装置 6 0 は動作を開始する。次いで、ステップ S 0 0 7 A にて、操作が終了したか否かを判定し、操作終了であると判定されたときは処理を終了し、操作終了でないと判定されたときは処理をステップ S 0 0 7 B に移行する。

【 0 0 7 2 】

40

次いで、ステップ S 0 0 7 B にて、移動する治療装置 6 0 が減速開始位置に到達したか否かを判定する。減速開始位置に到達したと判定されたときは処理をステップ S 0 0 8 へ移行し、減速開始位置に到達していないと判定されたときは再度ステップ S 0 0 7 A の判定を実行して、操作終了、もしくは減速開始位置に到達するのを待つ。

【 0 0 7 3 】

治療装置が減速開始位置に達したと判定されたら、次いで、ステップ S 0 0 8 にて、減速信号を統括制御装置 3 a に出力する。

【 0 0 7 4 】

減速指令出力後は、ステップ S 0 0 9 に処理を移行し、移動する治療装置 6 0 が目標位置に到達したか、又は操作が終了したか否かを判定し、目標位置に到達するか、操作終了

50

まで処理を継続する。

【0075】

本発明の実施形態2の陽子線治療システムおよび干渉判定装置においても、前述した実施形態1の陽子線治療システムおよび干渉判定装置とほぼ同様な効果が得られる。

【0076】

また、干渉計算部41は、3Dモデル同士の距離が予め定められた操作許可インターロック閾値より大きい減速インターロック閾値以下となる位置を解析し、治療装置が移動中に減速インターロック閾値以下となる位置に達した時は減速信号を治療装置制御部3Aに出力する。

特に、重量が大きく減速度を上げることが難しい回転ガントリでは、減速に必要なマージン閾値に達したときにリアルタイム処理で減速させる方法を採用すると、マージン閾値を大きく設定する必要がある、必要以上に減速が発生してしまう。これに対し、本実施形態2によれば、事前の解析で最短距離が減速インターロック閾値以下となった時のみ減速信号を出力するため、治療装置60と患者61もしくは治療装置60同士が接近するときだけ減速処理を行うことが可能となる。このため、治療装置60の急停止をより確実に防ぐことができ、より安全な治療装置60の移動を実現することができる。

【0077】

なお、本実施形態では、減速インターロック閾値と最短距離とが一致する位置を減速開始位置とする場合について説明したが、減速開始位置は減速インターロック閾値に一致させる必要はなく、最短距離が減速インターロック閾値と一致する位置から治療装置60が減速するのに必要な距離手前の位置を減速開始位置として記録することができる。

【0078】

<実施形態3>

本発明の実施形態3の陽子線治療システムおよび干渉判定装置を図8を用いて説明する。

【0079】

実施形態1の陽子線治療システムおよび干渉判定装置では、治療装置60の移動前に治療装置60の現在位置から目標位置までの軌道上の干渉の有無を計算し、干渉があるときは治療装置60の操作を禁止する態様について述べた。これに対し、本実施形態3の陽子線治療システムおよび干渉判定装置では、操作許可インターロック閾値とは別に実施形態2と同様に減速インターロック閾値を設けるが、実施形態2とは異なり、減速インターロック閾値に関する処理を治療装置60の移動中にリアルタイムで行う。

【0080】

本実施形態の陽子線治療システムおよび干渉判定装置の構成および動作は、干渉判定装置の干渉計算部の構成および動作以外は前述した実施形態1の陽子線治療システムおよび干渉判定装置と略同じ構成・動作であり、詳細は省略する。

【0081】

本実施形態の干渉判定装置の干渉計算部は、更に、治療装置の移動中にリアルタイムで、3Dモデル同士の距離が予め定められた操作許可インターロック閾値より大きい減速インターロック閾値以下であるか否かを判定し、減速インターロック閾値以下であると判定されたときは減速信号を治療装置制御部3Aに出力する。

【0082】

次に、本実施形態の干渉判定装置の干渉判定処理の流れについて図8を用いて説明する。図8は、実施形態3による干渉判定装置のフローチャートである。

【0083】

図8に示すフローチャートは、図7に示す実施形態2でのフローチャートのステップS003A、S005、S006、S007Aがなく、ステップS002Aが図6に示すステップS002に、ステップS005Aが図6に示すステップS005に、ステップS007BがステップS007に置き換わる点異なる。以下異なるステップの部分について説明する。

【 0 0 8 4 】

ステップ S 0 0 6 A にて、統括制御装置 3 a は操作許可信号に基づきガントリ制御装置 3 d や治療台制御装置 3 e へと治療装置 6 0 の移動指令を出力した後、ステップ S 0 0 7 に処理が移動する。

【 0 0 8 5 】

治療装置 6 0 が移動を始めたら、移動中は治療装置 6 0 と患者 6 1 又は治療装置 6 0 同士の距離を常に計算し、ステップ S 0 0 7 にて、計算した距離が減速インターロック閾値以下であるか否かを判定する。距離が減速インターロック閾値以下であると判定されたときは処理をステップ S 0 0 8 へ移行し、距離が減速インターロック閾値より大きいと判定されたときは処理をステップ S 0 0 9 へ移行する。

10

【 0 0 8 6 】

ステップ S 0 0 8 では、制御信号入出力部 4 3 から減速信号を統括制御装置 3 a に出力し、統括制御装置 3 a は入力した減速信号に基づきガントリ制御装置 3 d や治療台制御装置 3 e へ減速指令を出力する。

【 0 0 8 7 】

距離が減速インターロック閾値より大きいと判定された場合と、ステップ S 0 0 8 で減速信号を出力したあとは、ステップ S 0 0 9 に処理を移動する。

【 0 0 8 8 】

ステップ S 0 0 9 では、移動する治療装置 6 0 が目標位置に到達したか、又は操作が終了したか否かを判定し、治療装置が目標位置に到達したか、又は治療装置の操作をユーザーが終了した場合、干渉判定処理を終了する。治療装置が目標位置に到達しておらず、治療装置の操作をユーザーが終了していない場合は、処理をステップ S 0 0 7 に戻し、ステップ S 0 0 7 ~ S 0 0 9 の処理を繰り返す。

20

【 0 0 8 9 】

その他の構成・動作は前述した実施形態 1 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置と略同じ構成・動作であり、詳細は省略する。

【 0 0 9 0 】

本発明の実施形態 3 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置においても、前述した実施形態 1 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置とほぼ同様な効果が得られる。

【 0 0 9 1 】

また、干渉計算部 4 1 は、治療装置の移動中にリアルタイムで、3Dモデル同士の距離が予め定められた操作許可インターロック閾値より大きい減速インターロック閾値以下であるか否かを判定し、減速インターロック閾値以下であると判定されたときは減速信号を治療装置制御部 3 A に出力することで、減速処理を設けることができ、衝突の危険があるときに治療装置 6 0 の急停止を防ぐことができる。

30

【 0 0 9 2 】

また、減速度を高く設定できる、すなわち急停止を行っても機器の寿命に影響が出にくい治療装置 6 0 に対しては、上述の実施形態 2 で示す処理よりも本実施形態の処理のほうが治療装置動作前の演算負荷が減るため、解析結果の待ち時間を減らすことができ治療をスムーズに行うことが可能となる。

40

【 0 0 9 3 】

更に、目標位置までの軌道が算出できる治療装置 6 0 については実施形態 2 の処理方法で解析を行い、目標位置までの軌跡が算出できない治療装置 6 0 については実施形態 3 の処理方法で解析を行う等、処理を適宜組み合わせることで、CPU 負荷率の低減を図ることができる。

【 0 0 9 4 】

< 実施形態 4 >

本発明の実施形態 4 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置を図 9 を用いて説明する。

【 0 0 9 5 】

50

本実施形態４の陽子線治療システムおよび干渉判定装置は、患者６１の体積を取り込み、より正確な干渉判定を実行するものである。以下、図９を用いて説明する。図９は、本実施形態４による放射線治療システムのブロック図である。

【００９６】

図９に示すように、陽子線治療システム１００Ａの干渉判定装置４０Ａは、患者６１を撮影する患者体積測定装置４７と、患者体積測定装置４７で取得した患者体積データから患者３Ｄモデルを作成する患者モデル作成部４９を更に有している。また、干渉計算部４１Ａは、患者モデル作成部４９で作成された患者３Ｄモデルを用いて干渉判定シミュレーションを実行する。

【００９７】

患者体積測定装置４７としては、ＴＯＦ（Time of Flight）カメラや、ステレオカメラ、光切断方式カメラが想定されるが、これ以外の機器でも可能である。

【００９８】

その他の構成・動作は前述した実施形態１の陽子線治療システムおよび干渉判定装置と略同じ構成・動作であり、詳細は省略する。

【００９９】

本発明の実施形態４の陽子線治療システムおよび干渉判定装置においても、前述した実施形態１の陽子線治療システムおよび干渉判定装置とほぼ同様な効果が得られる。

【０１００】

また、患者６１を撮影する患者体積測定装置４７と、患者体積測定装置４７で撮影された結果に基づいて患者３Ｄモデルを作成する患者モデル作成部４９と、を更に備えたことで、デフォルトの患者３Ｄモデルよりも実際の患者に近い患者３Ｄモデルを利用した干渉判定が可能となり、操作許可インターロック閾値を小さくすることができ、よりスループットの高い治療が可能となる。また、ＣＴ画像などの体の一部の情報からモデルを作成するよりも、患者全身を正確にモデルに反映することができることから、患者体型の過大評価もしくは過小評価が生じる可能性を低くすることができ、干渉判定の更なる高精度化を図ることができる。

【０１０１】

<実施形態５>

本発明の実施形態５の陽子線治療システムおよび干渉判定装置を図１０を用いて説明する。

【０１０２】

本実施形態５の陽子線治療システムおよび干渉判定装置は、実施形態４に示した患者体積測定装置としてＴＯＦカメラ４７Ａを採用したものである。以下、図１０を用いて説明する。図１０は、本実施形態５による放射線治療システムのブロック図である。

【０１０３】

図１０に示すように、陽子線治療システム１００Ｂの干渉判定装置４０Ｂは、患者体積測定装置として、ＴＯＦカメラ４７Ａを備えている。患者モデル作成部４９Ａでは、ＴＯＦカメラ４７Ａで取得した深度データを利用して患者３Ｄモデルを作成する。干渉計算部４１Ｂでは、患者モデル作成部４９Ａで作成された患者３Ｄモデルを用いて干渉判定シミュレーションを実行する。

【０１０４】

その他の構成・動作は前述した実施形態１の陽子線治療システムおよび干渉判定装置と略同じ構成・動作であり、詳細は省略する。

【０１０５】

本発明の実施形態５の陽子線治療システムおよび干渉判定装置においても、前述した実施形態１の陽子線治療システムおよび干渉判定装置とほぼ同様な効果が得られる。

【０１０６】

また、患者体積測定装置を、ＴＯＦカメラ４７Ａとする。粒子線治療室の治療室内は、中性子の影響によりカメラなどの撮影機器が故障しやすい。これに対し、ＴＯＦカメラは

10

20

30

40

50

、ステレオカメラ、光切断方式カメラなどの他の３次元計測部に比べて、安価で、位置決めやキャリブレーションなどが不要である、との特長を有している。このため、ＴＯＦカメラ４７Ａは粒子線治療室で用いるのに適している。更に、ＴＯＦカメラは測定時間が短いため、患者への負担も少なく、スループットを更に向上することができる。

【０１０７】

<実施形態６>

本発明の実施形態６の陽子線治療システムおよび干渉判定装置を図１１を用いて説明する。

【０１０８】

本実施形態６の陽子線治療システムおよび干渉判定装置は、実施形態４に示した干渉判定装置において、患者モデル作成部４９Ｂは、治療台６２に患者６１を載せていない時の計測データと、患者６１を載せているときの計測データの差分からモデルを作成するものである。以下、図１１を用いて説明する。図１１は、本実施形態６による放射線治療システムのブロック図である。

10

【０１０９】

図１１に示すように、陽子線治療システム１００Ｃの干渉判定装置４０Ｃにおける患者モデル作成部４９Ｂは、患者６１を治療台に載せていない時の計測データと、患者６１を治療台に載せているときの計測データとの差分から患者３Ｄモデルを作成する。干渉計算部４１Ｃでは、患者モデル作成部４９Ｂで作成された患者３Ｄモデルを用いて干渉判定シミュレーションを実行する。

20

【０１１０】

本実施形態の干渉判定装置４０Ｃでは、事前に、治療台６２に患者６１を載せる位置で、治療台６２のみの深度データを患者体積測定装置４７により取得しておく。その後、治療時に患者６１を治療台６２に乗せ、患者６１搭載時の深度データを患者体積測定装置４７により別途取得する。患者モデル作成部４９Ｂでは、これらのデータの差分を算出し、患者３Ｄモデルを作成する。

【０１１１】

この時、患者計測が成功しているかを確認するために、算出した差分データおよび作成した患者モデルを表示装置（例えば、後述する図１２の干渉計算モデル表示部４８等を好適に用いることができる）を用いて表示することが望ましい。さらに、表示された患者モデルとデフォルトの患者モデルのいずれのモデルを用いて干渉判定シミュレーションを行うかを選択することが望ましい。このように作成した患者モデルとデフォルトの患者モデルから使用するモデルを選択可能とすることで、モデル化失敗した時にも、デフォルトの患者モデルを選択することで安全を担保することができる。

30

【０１１２】

その他の構成・動作は前述した実施形態１の陽子線治療システムおよび干渉判定装置と略同じ構成・動作であり、詳細は省略する。

【０１１３】

本発明の実施形態６の陽子線治療システムおよび干渉判定装置においても、前述した実施形態１の陽子線治療システムおよび干渉判定装置とほぼ同様な効果が得られる。

40

【０１１４】

また、患者モデル作成部４９Ｂは、患者６１を治療台６２に載せていない時の計測データと、患者６１を治療台６２に載せているときの計測データとの差分から患者３Ｄモデルを作成することで、事前に取得していた治療台６２のデータとの差分からモデルを作成するため、患者領域をより正確に特定することが可能であり、ノイズ除去が容易となる。また、差分処理を行うことで、系統誤差を打ち消すことが可能となり、より精度の高い患者３Ｄモデルが作成可能である。

【０１１５】

<実施形態７>

本発明の実施形態７の陽子線治療システムおよび干渉判定装置を図１２を用いて説明す

50

る。

【 0 1 1 6 】

本実施形態 7 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置は、干渉判定に用いるモデルと干渉判定の結果を表示する。以下、図 1 2 を用いて説明する。図 1 2 は、本実施形態 7 による放射線治療システムのブロック図である。

【 0 1 1 7 】

図 1 2 に示すように、本実施形態の陽子線治療システム 1 0 0 D の干渉判定装置 4 0 D は、仮想空間上の 3 D モデル、および干渉判定結果を表示する干渉計算モデル表示部（干渉判定結果表示装置）4 8 が設けられており、干渉判定に用いるモデルと干渉計算結果を表示する。干渉計算部 4 1 D は、干渉計算結果として、干渉発生位置を表示するよう表示信号を干渉計算モデル表示部 4 8 に対して出力する。また、干渉判定シミュレーションにおいて、操作不許可となった場合、表示中の現在位置のモデルに重ねて干渉位置のモデルを表示するよう表示信号を出力する。この表示するモデルは衝突箇所をハイライト表示して強調することで、治療装置 6 0 の移動前に衝突が生じる位置を把握可能とすることが望ましい。また、表示するモデルは拡大縮小、回転等の操作を可能とすることが望ましい。更には、監視カメラでは死角となるような位置での干渉も確認することができるようになることが望ましい。

10

【 0 1 1 8 】

その他の構成・動作は前述した実施形態 1 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置と略同じ構成・動作であり、詳細は省略する。

20

【 0 1 1 9 】

本発明の実施形態 7 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置においても、前述した実施形態 1 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置とほぼ同様な効果が得られる。

【 0 1 2 0 】

また、仮想空間上の 3 D モデル、および干渉判定結果を表示する干渉計算モデル表示部 4 8 を更に備えたことで、干渉が生じるか否か、生じた際に干渉の様子を容易に把握することができる。このため、治療装置 6 0 の目標位置や設定速度の修正をより容易に行うことができ、干渉が生じた際のリカバリをより迅速に行うことができ、よりスループットの高い治療が可能となる。

【 0 1 2 1 】

30

< 実施形態 8 >

本発明の実施形態 8 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置を図 1 3 を用いて説明する。

【 0 1 2 2 】

本実施形態 8 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置は、3次元計測部 5 0 を用いて治療装置 6 0 の状態の監視を常時行い、治療装置 6 0 に生じる変形を 3 D モデルに反映することで、正確な干渉判定を実施する。以下、図 1 3 を用いて説明する。図 1 3 は、本実施形態 8 による放射線治療システムのブロック図である。

【 0 1 2 3 】

図 1 3 に示すように、本実施形態の陽子線治療システム 1 0 0 E の干渉判定装置 4 0 E は、治療装置 6 0 の形状を常に計測して変形を常時監視する 3 次元計測部 5 0 を更に備えており、干渉計算部 4 1 E は、3次元計測部 5 0 で計測された治療装置 6 0 の変形量のデータを利用して治療装置 6 0 の 3 D モデルを補正して干渉判定シミュレーションを行う。

40

【 0 1 2 4 】

その他の構成・動作は前述した実施形態 1 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置と略同じ構成・動作であり、詳細は省略する。

【 0 1 2 5 】

本発明の実施形態 8 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置においても、前述した実施形態 1 の陽子線治療システムおよび干渉判定装置とほぼ同様な効果が得られる。

【 0 1 2 6 】

50

また、治療装置の変形を常時監視する３次元計測部５０を更に備え、干渉計算部４１Ｅは、３次元計測部５０で計測された変形量のデータを利用して３Ｄモデルを補正して干渉判定シミュレーションを行う。粒子線治療に用いる治療装置６０、特に治療台６２は様々な角度からビーム照射を行うために自由度の高い動作と広い動作範囲が要求されるため、たわみが生じやすい。これに対し、３次元計測部５０によってこのようなたわみを監視し、３Ｄモデルに対して反映することで、より正確な干渉判定を実施することができる。これにより、操作許可インターロック閾値をより小さくかつ正確に設定することが可能となり、更に安全な治療を高いスループットで行うことができるようになる。

【０１２７】

<実施形態９>

本発明の実施形態９の陽子線治療システムおよび干渉判定装置を図１４を用いて説明する。

【０１２８】

本実施形態９の陽子線治療システムおよび干渉判定装置は、治療装置６０から機器のたわみ情報を取得し、正確な干渉判定を実施する。以下、図１４を用いて説明する。図１４は、本実施形態９による放射線治療システムのブロック図である。

【０１２９】

図１４に示すように、本実施形態の陽子線治療システム１００Ｆの干渉判定装置４０Ｆは、実施形態８で説明した３次元計測部５０の代わりに、治療装置６０に設置した力センサ等の歪み検出機器の情報をもとに治療装置６０の３Ｄモデルの補正を行う。本実施形態では、歪み検出機器として力センサ５１を採用している。力センサ５１は、治療装置６０の変形を常時監視する。また、干渉計算部４１Ｆは、力センサ５１で計測された変形量のデータを利用して治療装置６０の３Ｄモデルを補正して干渉判定シミュレーションを行う。

【０１３０】

その他の構成・動作は前述した実施形態１の陽子線治療システムおよび干渉判定装置と略同じ構成・動作であり、詳細は省略する。

【０１３１】

本発明の実施形態９の陽子線治療システムおよび干渉判定装置においても、前述した実施形態８の陽子線治療システムおよび干渉判定装置とほぼ同様な効果が得られる。

【０１３２】

すなわち、治療装置６０の変形を常時監視する力センサ５１を更に備え、干渉計算部４１Ｆは、力センサ５１で計測された変形量のデータを利用して３Ｄモデルを補正して干渉判定シミュレーションを行うことによって、より正確な干渉判定を実施することができ、操作許可インターロック閾値を小さくすることが可能である。

【０１３３】

<その他>

なお、本発明は、上記の実施形態に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。上記の実施形態は本発明を分かりやすく説明するため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されるものではない。また、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成に置き換えることも可能であり、また、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成を加えることも可能である。また、各実施形態の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることも可能である。

【０１３４】

例えば、干渉判定装置４０によって干渉判定を行う移動可能な治療装置６０として、上述の各実施形態では回転ガントリ２０と治療台６２を例示したが、移動可能に構成された治療装置６０はこれらに限定されず、例えば、高エネルギービーム輸送系１３により輸送された荷電粒子ビームを患部６１ａに照射する照射中の治療台６２で患者６１を撮像するインルームＣＴ、治療台６２上の患者６１を中心にＸ線管およびＸ線検出器を回転させるＣアーム、コリメータやボラスを保持するスノートなどが挙げられる。

【 0 1 3 5 】

これらの装置のうち、固定されたレール上を移動する機器や可動軸が1軸である機器、例えば回転ガントリや照射ノズル、インルームCT、Cアーム、スノート等は、実施形態3で説明した目標位置までの軌道が算出できる治療装置とし、可動軸が2軸以上の機器、例えば治療台は目標位置までの軌道が算出できない治療装置とすることができる。

【 0 1 3 6 】

また、干渉判定シミュレーションを行うタイミングを、治療装置60の移動要求信号の入力を受けた後である治療装置の移動開始の直前とした場合について説明したが、タイミングは治療装置の移動開始前であればよく、例えば、治療装置60の各種動作がある程度決定した治療計画の作成後であってもよい。しかし、治療装置の移動開始の直前であれば、治療装置60の動作の各種制御情報が豊富であり、かつ精度が実際の移動に即しているため、治療装置60の移動要求信号の入力を受けた後、かつ治療装置の移動開始の直前とすることが望ましい。

10

【 0 1 3 7 】

更に、治療装置60の3Dモデルとその他の3Dモデルとの最短距離を判定対象距離として、判定対象距離が予め定められた操作許可インターロック閾値以下であるか否かを判定する場合について説明したが、治療装置60の3Dモデルとその他の3Dモデルとの干渉を判定する方法はこれに限られず、例えば3Dモデルの座標空間中に重複する部分が存在するか否かによって判定することなども可能である。

20

【 符号の説明 】

【 0 1 3 8 】

3 ... 制御システム

3 A ... 治療装置制御部 (制御装置)

2 0 ... 回転ガントリ (照射装置)

4 0 , 4 0 A , 4 0 B , 4 0 C , 4 0 D , 4 0 E , 4 0 F ... 干渉判定装置

4 1 , 4 1 A , 4 1 B , 4 1 C , 4 1 D , 4 1 E , 4 1 F ... 干渉計算部

4 2 ... 3 Dモデル保存部 (3 Dデータベース)

4 3 ... 制御信号入出力部

4 4 ... CPU

4 5 ... 記憶装置

30

4 6 ... 入出力装置

4 7 , 4 7 A ... 患者体積測定装置

4 8 ... 干渉計算モデル表示部 (干渉判定結果表示装置)

4 9 , 4 9 A , 4 9 B ... 患者モデル作成部

5 0 ... 3次元計測部

5 1 ... 力センサ

6 0 ... 治療装置

6 1 ... 患者

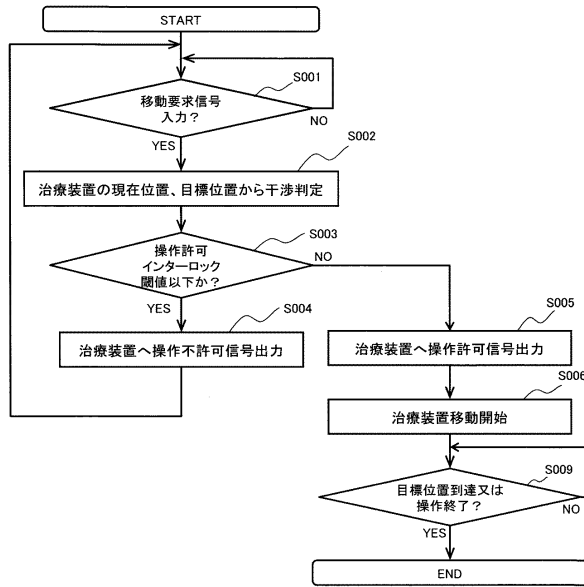
6 1 a ... 患部 (標的)

6 2 ... 治療台

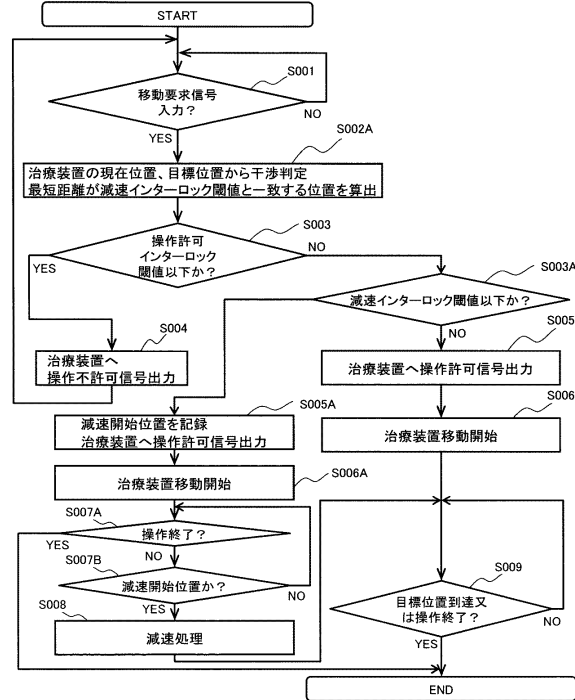
40

1 0 0 , 1 0 0 A , 1 0 0 B , 1 0 0 C , 1 0 0 D , 1 0 0 E , 1 0 0 F ... 陽子線治療システム (放射線治療システム)

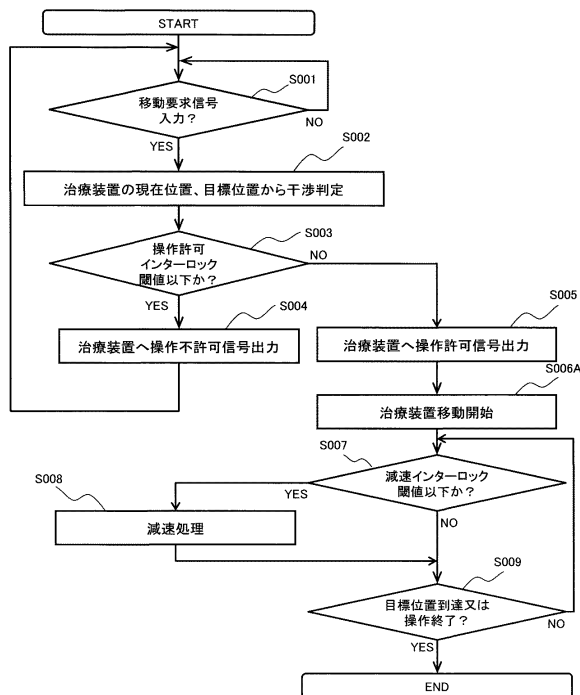
【図 6】



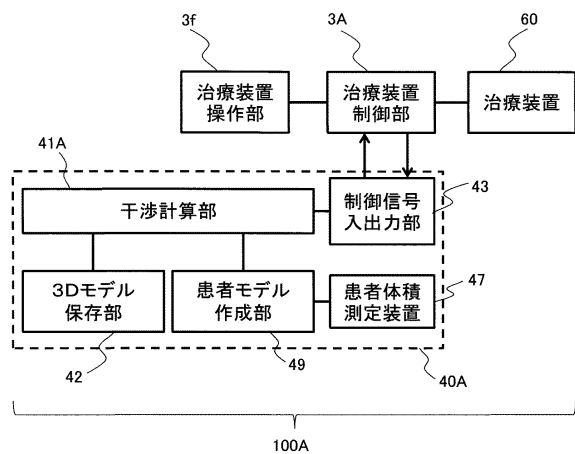
【図 7】



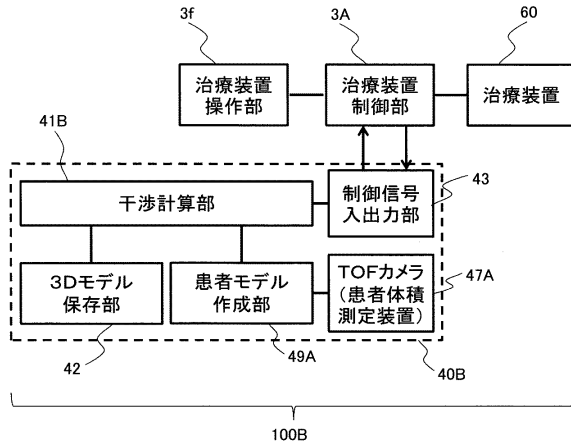
【図 8】



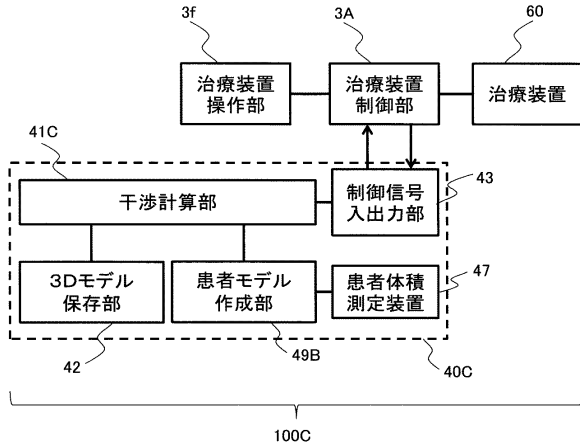
【図 9】



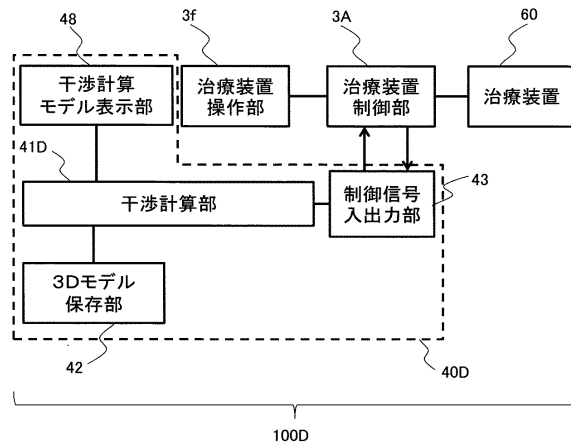
【図 10】



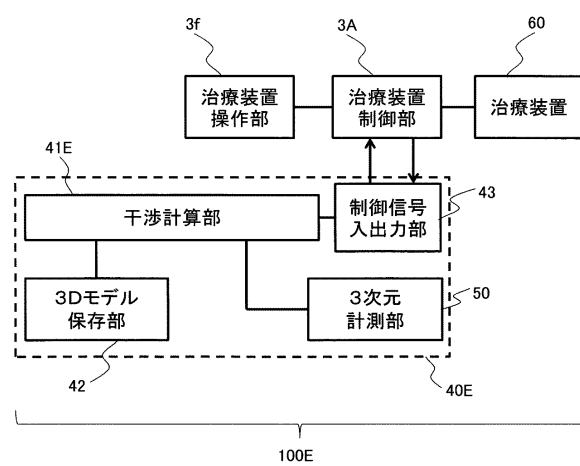
【図 11】



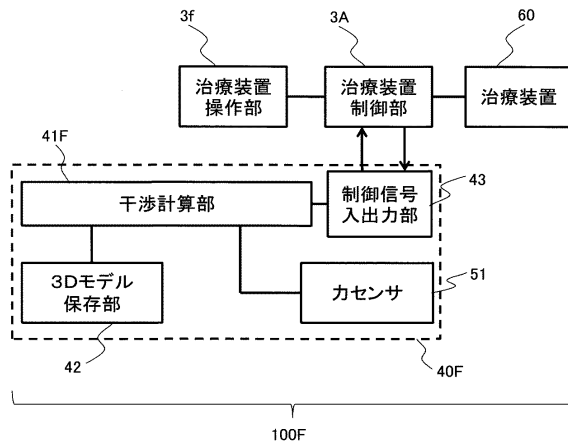
【図 12】



【図 13】



【図 14】



フロントページの続き

(72)発明者 清水 剛

東京都千代田区丸の内一丁目6番6号

株式会社日立製作所内

審査官 安田 昌司

(56)参考文献 特開2014-128352(JP,A)

特開2014-090896(JP,A)

特開2010-131270(JP,A)

国際公開第2016/008052(WO,A1)

米国特許出願公開第2015/0035942(US,A1)

特開2011-110335(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61N 5/10