

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3912364号
(P3912364)

(45) 発行日 平成19年5月9日(2007.5.9)

(24) 登録日 平成19年2月9日(2007.2.9)

(51) Int. Cl.	F I		
H05H 13/04 (2006.01)	H05H 13/04	M	
A61N 5/10 (2006.01)	H05H 13/04	R	
G21K 5/00 (2006.01)	A61N 5/10	H	
G21K 5/04 (2006.01)	A61N 5/10	Q	
	G21K 5/00	S	

請求項の数 20 (全 24 頁) 最終頁に続く

<p>(21) 出願番号 特願2003-377672 (P2003-377672)</p> <p>(22) 出願日 平成15年11月7日(2003.11.7)</p> <p>(65) 公開番号 特開2005-142034 (P2005-142034A)</p> <p>(43) 公開日 平成17年6月2日(2005.6.2)</p> <p> 審査請求日 平成17年3月31日(2005.3.31)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(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</p> <p>(74) 代理人 100100310 弁理士 井上 学</p> <p>(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 電力・電機開発研究所内</p> <p>(72) 発明者 池 勝久 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社 日立製作所 機械研究所内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	---

(54) 【発明の名称】 粒子線治療装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

荷電粒子ビームを加速する円形加速器と、前記円形加速器から出射された前記荷電粒子ビームを照射対象に照射する荷電粒子ビーム照射装置と、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前において前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定するエネルギー判定装置とを備えた粒子線治療装置であって、

前記粒子線治療装置は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器に備えられた加速空洞から前記荷電粒子ビームを加速するために印加される高周波の周波数、及び前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの軌道位置を関連付けしたテーブルデータを備え、

前記エネルギー判定装置は、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記高周波の周波数及び前記荷電粒子ビームの軌道位置を前記テーブルデータから求め、

前記加速終了後における前記高周波の周波数が、前記テーブルデータから求めた前記高周波の周波数に基づいて定められる第1の許容範囲内に存在するかを判定し、

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの軌道位置が、前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの軌道位置に基づいて定められる第2の許容範囲内に存在するかを判定する粒子線治療装置。

【請求項2】

10

20

荷電粒子ビームを加速する円形加速器と、前記円形加速器から出射された前記荷電粒子ビームを照射対象に照射する荷電粒子ビーム照射装置と、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前において前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定するエネルギー判定装置とを備えた粒子線治療装置であって、

前記粒子線治療装置は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器に備えられた加速空洞から前記荷電粒子ビームを加速するために印加される高周波の周波数、及び前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの軌道位置を関連付けしたテーブルデータを備え、

前記エネルギー判定装置は、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記高周波の周波数及び前記荷電粒子ビームの軌道位置を前記テーブルデータから求め、

10

前記加速終了後における前記高周波の周波数と前記テーブルデータから求めた前記高周波の周波数との差分である周波数ずれ量を算出し、

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの軌道位置と前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの軌道位置との差分である軌道位置ずれ量を算出し、

前記周波数ずれ量及び前記軌道位置ずれ量が許容範囲内に存在するかを判定する粒子線治療装置。

【請求項 3】

荷電粒子ビームを加速する円形加速器と、前記円形加速器から出射された前記荷電粒子ビームを照射対象に照射する荷電粒子ビーム照射装置と、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前において前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定するエネルギー判定装置とを備えた粒子線治療装置であって、

20

前記粒子線治療装置は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの周回周波数、及び前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの軌道位置を関連付けしたテーブルデータを備え、

前記エネルギー判定装置は、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記荷電粒子ビームの周回周波数及び前記荷電粒子ビームの軌道位置を前記テーブルデータから求め、

30

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの周回周波数が、前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの周回周波数に基づいて定められる第1の許容範囲内に存在するかを判定し、

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの軌道位置が、前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの軌道位置に基づいて定められる第2の許容範囲内に存在するかを判定する粒子線治療装置。

【請求項 4】

荷電粒子ビームを加速する円形加速器と、前記円形加速器から出射された前記荷電粒子ビームを照射対象に照射する荷電粒子ビーム照射装置と、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前において前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定するエネルギー判定装置とを備えた粒子線治療装置であって、

40

前記粒子線治療装置は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの周回周波数、及び前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの軌道位置を関連付けしたテーブルデータを備え、

前記エネルギー判定装置は、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記荷電粒子ビームの周回周波数及び前記荷電粒子ビームの軌道位置を前記テーブルデータから求め、

50

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの周回周波数と前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの周回周波数との差分である周波数ずれ量を算出し、

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの軌道位置と前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの軌道位置との差分である軌道位置ずれ量を算出し、

前記周波数ずれ量及び前記軌道位置ずれ量が許容範囲内に存在するかを判定する粒子線治療装置。

【請求項5】

荷電粒子ビームを加速する円形加速器と、前記円形加速器から出射された前記荷電粒子ビームを照射対象に照射する荷電粒子ビーム照射装置と、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前において前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定するエネルギー判定装置とを備えた粒子線治療装置であって、

10

前記粒子線治療装置は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器に備えられた偏向電磁石の偏向磁場強度、及び前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの軌道位置を関連付けしたテーブルデータを備え、

前記エネルギー判定装置は、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記偏向電磁石の偏向磁場強度及び前記荷電粒子ビームの軌道位置を前記テーブルデータから求め、

前記加速終了後における前記偏向電磁石の偏向磁場強度が、前記テーブルデータから求めた前記偏向電磁石の偏向磁場強度に基づいて定められる第1の許容範囲内に存在するかを判定し、

20

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの軌道位置が、前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの軌道位置に基づいて定められる第2の許容範囲内に存在するかを判定する粒子線治療装置。

【請求項6】

荷電粒子ビームを加速する円形加速器と、前記円形加速器から出射された前記荷電粒子ビームを照射対象に照射する荷電粒子ビーム照射装置と、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前において前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定するエネルギー判定装置とを備えた粒子線治療装置であって、

30

前記粒子線治療装置は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器に備えられた偏向電磁石の偏向磁場強度、及び前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの軌道位置を関連付けしたテーブルデータを備え、

前記エネルギー判定装置は、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記偏向電磁石の偏向磁場強度及び前記荷電粒子ビームの軌道位置を前記テーブルデータから求め、

前記加速終了後における前記偏向電磁石の偏向磁場強度と前記テーブルデータから求めた前記偏向電磁石の偏向磁場強度との差分である磁場強度ずれ量を算出し、

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの軌道位置と前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの軌道位置との差分である軌道位置ずれ量を算出し、

40

前記磁場強度ずれ量及び前記軌道位置ずれ量が許容範囲内に存在するかを判定する粒子線治療装置。

【請求項7】

荷電粒子ビームを加速する円形加速器と、前記円形加速器から出射された前記荷電粒子ビームを照射対象に照射する荷電粒子ビーム照射装置と、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前において前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定するエネルギー判定装置とを備えた粒子線治療装置であって、

前記粒子線治療装置は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器に備えられた偏向電磁石の偏向磁場強度、及び前記円形加速

50

器に備えられた加速空洞から前記荷電粒子ビームを加速するために印加される高周波の周波数を関連付けしたテーブルデータを備え、

前記エネルギー判定装置は、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記偏向電磁石の偏向磁場強度及び前記高周波の周波数を前記テーブルデータから求め、

前記加速終了後における前記偏向電磁石の偏向磁場強度が、前記テーブルデータから求めた前記偏向電磁石の偏向磁場強度に基づいて定められる第1の許容範囲内に存在するかを判定し、

前記加速終了後における前記高周波の周波数が、前記テーブルデータから求めた前記高周波の周波数に基づいて定められる第2の許容範囲内に存在するかを判定する粒子線治療装置。

10

【請求項8】

荷電粒子ビームを加速する円形加速器と、前記円形加速器から出射された前記荷電粒子ビームを照射対象に照射する荷電粒子ビーム照射装置と、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前において前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定するエネルギー判定装置とを備えた粒子線治療装置であって、

前記粒子線治療装置は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器に備えられた偏向電磁石の偏向磁場強度、及び前記円形加速器に備えられた加速空洞から前記荷電粒子ビームを加速するために印加される高周波の周波数を関連付けしたテーブルデータを備え、

20

前記エネルギー判定装置は、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記偏向電磁石の偏向磁場強度及び前記高周波の周波数を前記テーブルデータから求め、

前記加速終了後における前記偏向電磁石の偏向磁場強度と前記テーブルデータから求めた前記偏向電磁石の偏向磁場強度との差分である磁場強度ずれ量を算出し、

前記加速終了後における前記高周波の周波数と前記テーブルデータから求めた前記高周波の周波数との差分である周波数ずれ量を算出し、

前記磁場強度ずれ量及び前記周波数ずれ量が許容範囲内に存在するかを判定する粒子線治療装置。

30

【請求項9】

荷電粒子ビームを加速する円形加速器と、前記円形加速器から出射された前記荷電粒子ビームを照射対象に照射する荷電粒子ビーム照射装置と、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前において前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定するエネルギー判定装置とを備えた粒子線治療装置であって、

前記粒子線治療装置は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器に備えられた偏向電磁石の偏向磁場強度、及び前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの周回周波数を関連付けしたテーブルデータを備え、

前記エネルギー判定装置は、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記偏向電磁石の偏向磁場強度及び前記荷電粒子ビームの周回周波数を前記テーブルデータから求め、

40

前記加速終了後における前記偏向電磁石の偏向磁場強度が、前記テーブルデータから求めた前記偏向電磁石の偏向磁場強度に基づいて定められる第1の許容範囲内に存在するかを判定し、

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの周回周波数が、前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの周回周波数に基づいて定められる第2の許容範囲内に存在するかを判定する粒子線治療装置。

【請求項10】

荷電粒子ビームを加速する円形加速器と、前記円形加速器から出射された前記荷電粒子

50

ビームを照射対象に照射する荷電粒子ビーム照射装置と、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前において前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定するエネルギー判定装置とを備えた粒子線治療装置であって、

前記粒子線治療装置は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器に備えられた偏向電磁石の偏向磁場強度、及び前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの周回周波数を関連付けしたテーブルデータを備え、

前記エネルギー判定装置は、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記偏向電磁石の偏向磁場強度及び前記荷電粒子ビームの周回周波数を前記テーブルデータから求め、

前記加速終了後における前記偏向電磁石の偏向磁場強度と前記テーブルデータから求めた前記偏向電磁石の偏向磁場強度との差分である磁場強度ずれ量を算出し、

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの周回周波数と前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの周回周波数との差分である周波数ずれ量を算出し、

前記磁場強度ずれ量及び前記周波数ずれ量が許容範囲内に存在するかを判定する粒子線治療装置。

【請求項 1 1】

円形加速器で荷電粒子ビームを加速し、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前に前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定し、前記エネルギーの判定終了後前記円形加速器から前記荷電粒子ビームを出射する粒子線治療装置における荷電粒子ビームの出射方法であって、

前記エネルギーの判定は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器に備えられた加速空洞から前記荷電粒子ビームを加速するために印加される高周波の周波数、及び前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの軌道位置を関連付けしたテーブルデータから、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記高周波の周波数及び前記荷電粒子ビームの軌道位置を求め、

前記加速終了後における前記高周波の周波数が、前記テーブルデータから求めた前記高周波の周波数に基づいて定められる第 1 の許容範囲内に存在するかを判定し、

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの軌道位置が、前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの軌道位置に基づいて定められる第 2 の許容範囲内に存在するかを判定する荷電粒子ビームの出射方法。

【請求項 1 2】

円形加速器で荷電粒子ビームを加速し、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前に前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定し、前記エネルギーの判定終了後前記円形加速器から前記荷電粒子ビームを出射する粒子線治療装置における荷電粒子ビームの出射方法であって、

前記エネルギーの判定は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器に備えられた加速空洞から前記荷電粒子ビームを加速するために印加される高周波の周波数、及び前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの軌道位置を関連付けしたテーブルデータから、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記高周波の周波数及び前記荷電粒子ビームの軌道位置を求め、

前記加速終了後における前記高周波の周波数と前記テーブルデータから求めた前記高周波の周波数との差分である周波数ずれ量を算出し、

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの軌道位置と前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの軌道位置との差分である軌道位置ずれ量を算出し、

前記周波数ずれ量及び前記軌道位置ずれ量が許容範囲内に存在するかを判定する荷電粒子ビームの出射方法。

【請求項 1 3】

円形加速器で荷電粒子ビームを加速し、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前に前記円形加速器内を周回する前記荷電粒

10

20

30

40

50

子ビームのエネルギーを判定し、前記エネルギーの判定終了後前記円形加速器から前記荷電粒子ビームを射出する粒子線治療装置における荷電粒子ビームの射出方法であって、

前記エネルギーの判定は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの周回周波数、及び前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの軌道位置を関連付けしたテーブルデータから、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記荷電粒子ビームの周回周波数及び前記荷電粒子ビームの軌道位置を求め、

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの周回周波数が、前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの周回周波数に基づいて定められる第1の許容範囲内に存在するかを判定し、

10

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの軌道位置が、前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの軌道位置に基づいて定められる第2の許容範囲内に存在するかを判定する荷電粒子ビームの射出方法。

【請求項14】

円形加速器で荷電粒子ビームを加速し、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの射出前に前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定し、前記エネルギーの判定終了後前記円形加速器から前記荷電粒子ビームを射出する粒子線治療装置における荷電粒子ビームの射出方法であって、

前記エネルギーの判定は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの周回周波数、及び前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの軌道位置を関連付けしたテーブルデータから、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記荷電粒子ビームの周回周波数及び前記荷電粒子ビームの軌道位置を求め、

20

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの周回周波数と前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの周回周波数との差分である周波数ずれ量を算出し、

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの軌道位置と前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの軌道位置との差分である軌道位置ずれ量を算出し、

前記周波数ずれ量及び前記軌道位置ずれ量が許容範囲内に存在するかを判定する荷電粒子ビームの射出方法。

【請求項15】

30

円形加速器で荷電粒子ビームを加速し、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの射出前に前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定し、前記エネルギーの判定終了後前記円形加速器から前記荷電粒子ビームを射出する粒子線治療装置における荷電粒子ビームの射出方法であって、

前記エネルギーの判定は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器に備えられた偏向電磁石の偏向磁場強度、及び前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの軌道位置を関連付けしたテーブルデータから、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記偏向電磁石の偏向磁場強度及び前記荷電粒子ビームの軌道位置を求め、

前記加速終了後における前記偏向電磁石の偏向磁場強度が、前記テーブルデータから求めた前記偏向電磁石の偏向磁場強度に基づいて定められる第1の許容範囲内に存在するかを判定し、

40

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの軌道位置が、前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの軌道位置に基づいて定められる第2の許容範囲内に存在するかを判定する荷電粒子ビームの射出方法。

【請求項16】

円形加速器で荷電粒子ビームを加速し、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの射出前に前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定し、前記エネルギーの判定終了後前記円形加速器から前記荷電粒子ビームを射出する粒子線治療装置における荷電粒子ビームの射出方法であって、

50

前記エネルギーの判定は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器に備えられた偏向電磁石の偏向磁場強度、及び前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームの軌道位置を関連付けしたテーブルデータから、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記偏向電磁石の偏向磁場強度及び前記荷電粒子ビームの軌道位置を求め、

前記加速終了後における前記偏向電磁石の偏向磁場強度と前記テーブルデータから求めた前記偏向電磁石の偏向磁場強度との差分である磁場強度ずれ量を算出し、

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの軌道位置と前記テーブルデータから求めた前記荷電粒子ビームの軌道位置との差分である軌道位置ずれ量を算出し、

前記磁場強度ずれ量及び前記軌道位置ずれ量が許容範囲内に存在するかを判定する荷電粒子ビームの出射方法。 10

【請求項17】

円形加速器で荷電粒子ビームを加速し、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前に前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定し、前記エネルギーの判定終了後前記円形加速器から前記荷電粒子ビームを出射する粒子線治療装置における荷電粒子ビームの出射方法であって、

前記エネルギーの判定は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器に備えられた偏向電磁石の偏向磁場強度、及び前記円形加速器に備えられた加速空洞から前記荷電粒子ビームを加速するために印加される高周波の周波数を関連付けしたテーブルデータから、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記偏向電磁石の偏向磁場強度及び前記高周波の周波数を求め、 20

前記加速終了後における前記偏向電磁石の偏向磁場強度が、前記テーブルデータから求めた前記偏向電磁石の偏向磁場強度に基づいて定められる第1の許容範囲内に存在するかを判定し、

前記加速終了後における前記高周波の周波数が、前記テーブルデータから求めた前記高周波の周波数に基づいて定められる第2の許容範囲内に存在するかを判定する荷電粒子ビームの出射方法。

【請求項18】

円形加速器で荷電粒子ビームを加速し、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前に前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定し、前記エネルギーの判定終了後前記円形加速器から前記荷電粒子ビームを出射する粒子線治療装置における荷電粒子ビームの出射方法であって、 30

前記エネルギーの判定は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器に備えられた偏向電磁石の偏向磁場強度、及び前記円形加速器に備えられた加速空洞から前記荷電粒子ビームを加速するために印加される高周波の周波数を関連付けしたテーブルデータから、予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記偏向電磁石の偏向磁場強度及び前記高周波の周波数を求め、

前記加速終了後における前記偏向電磁石の偏向磁場強度と前記テーブルデータから求めた前記偏向電磁石の偏向磁場強度との差分である磁場強度ずれ量を算出し、

前記加速終了後における前記高周波の周波数と前記テーブルデータから求めた前記高周波の周波数との差分である周波数ずれ量を算出し、 40

前記磁場強度ずれ量及び前記周波数ずれ量が許容範囲内に存在するかを判定する荷電粒子ビームの出射方法。

【請求項19】

円形加速器で荷電粒子ビームを加速し、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前に前記円形加速器内を周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーを判定し、前記エネルギーの判定終了後前記円形加速器から前記荷電粒子ビームを出射する粒子線治療装置における荷電粒子ビームの出射方法であって、

前記エネルギーの判定は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子のエネルギー、前記円形加速器に備えられた偏向電磁石の偏向磁場強度、及び前記円形加 50

速器内を周回する前記荷電粒子ビームの周回周波数を関連付けしたテーブルデータから、
 予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記偏向電磁石の偏向磁場
 強度及び前記荷電粒子ビームの周回周波数を求め、

前記加速終了後における前記偏向電磁石の偏向磁場強度が、前記テーブルデータから求
 めた前記偏向電磁石の偏向磁場強度に基づいて定められる第1の許容範囲内に存在するか
 を判定し、

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの周回周波数が、前記テーブルデータから
 求めた前記荷電粒子ビームの周回周波数に基づいて定められる第2の許容範囲内に存在す
 るかを判定する荷電粒子ビームの出射方法。

【請求項20】

10

円形加速器で荷電粒子ビームを加速し、前記円形加速器による前記荷電粒子ビームの加
 速終了後であって前記荷電粒子ビームの出射前に前記円形加速器内を周回する前記荷電粒
 子ビームのエネルギーを判定し、前記エネルギーの判定終了後前記円形加速器から前記荷
 電粒子ビームを出射する粒子線治療装置における荷電粒子ビームの出射方法であって、

前記エネルギーの判定は、予め前記粒子線治療装置において計測により求めた荷電粒子
 のエネルギー、前記円形加速器に備えられた偏向電磁石の偏向磁場強度、及び前記円形加
 速器内を周回する前記荷電粒子ビームの周回周波数を関連付けしたテーブルデータから、
 予め決定された荷電粒子ビームの設定エネルギー値に対応する前記偏向電磁石の偏向磁場
 強度及び前記荷電粒子ビームの周回周波数を求め、

前記加速終了後における前記偏向電磁石の偏向磁場強度と前記テーブルデータから求め
 た前記偏向電磁石の偏向磁場強度との差分である磁場強度ずれ量を算出し、

20

前記加速終了後における前記荷電粒子ビームの周回周波数と前記テーブルデータから求
 めた前記荷電粒子ビームの周回周波数との差分である周波数ずれ量を算出し、

前記磁場強度ずれ量及び前記周波数ずれ量が許容範囲内に存在するかを判定する荷電粒
 子ビームの出射方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、粒子線治療装置に係り、特に陽子及び重イオンなどのイオンビームを加速器
 で加速して治療に用いるのに好適な粒子線治療装置に関する。

30

【背景技術】

【0002】

陽子及び重イオンなどのイオンビーム（以下、ビーム）を癌の治療に用いる粒子線治療
 装置は、患者の患部形状に合わせたビームを照射することで、患部にビームを集中させて
 照射できる。特に、患者の体表面からの深さ方向におけるビームの飛程の調節は、ビーム
 のエネルギーを調整することで実現できる。

【0003】

粒子線治療装置に用いられる加速器の代表例としてシンクロトロンが挙げられる。シン
 クロトロンは、周回するビームに高周波電圧を印加し所望のエネルギーまでビームを加速
 する高周波加速空洞（以下、加速空洞）を備える。所望のエネルギーまで加速されたビ
 ームは、シンクロトロンから出射されてビーム輸送系を経て照射装置に導かれ、治療用ベ
 ッド上の患者の患部（癌の患部）に照射される。

40

【0004】

照射装置は、患部の体表からの深さと大きさに合わせたビームを生成してこのビームを
 出射する。一般に、照射装置は、二重散乱体法（非特許文献1の2081頁，図35），
 ウオブラ法（非特許文献1の2084頁，図41）及びイオンビームスキヤニング法（特
 許文献1，非特許文献1の2092頁及び2093頁）のいずれかのビーム照射法が適用
 できる構成を有する。

【0005】

粒子線治療装置の加速器であるシンクロトロンテムに対して、これらのいずれの照射法

50

においても、射出するビームエネルギーを設定エネルギーに調節する高精度の制御が要求されている。このためにも、ビームエネルギーを精度翼測定することが必要である。ビームエネルギーの測定は、従来、特許文献2に記載された水ファントム、及び非特許文献2に記載されたマルチリーフ・ファラデーカップを用いて行うことが知られている。

【0006】

【特許文献1】特開平10-118204号公報

【特許文献2】特開平11-64530号公報

【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 64巻8号 (1993年8月)の第2079~2093頁 (REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS VOLUME 64 NUMBER 8(AUGUST 1993)P2079-2093)

【非特許文献2】“ビーム コミッショニング オブ ザ ニュー プロトン セラピー システム フォー ユニバーシティ オブ ツクバ”エム・ウメザワ, エットオール, , プロシーディングズ オブ 2001 パーティクル アクセルレータ コンファレンス, シカゴ, ユーエスエ(2001) (“BEAM COMMISSIONING OF THE NEW PROTON THERAPY SYSTEM FOR UNIVERSITY OF TSUKUBA” M.Umezawa, et al., Proceedings of 2001 Particle Accelerator Conference, Chicago, USA (2001))

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

水ファントム及びマルチリーフ・ファラデーカップを用いたビームエネルギーの測定は、患者に照射するビームを遮って行うため、患者にビームを照射しながらビームエネルギーを逐次計測することはできない。特に、ビームスキニング法を適用する場合には、特許文献1に記載されたように、体表面からの深さ方向において患部を複数の層に分割して層ごとビームをスキニングすることが考えられている。ある層にビームを照射するためには、その層にビームが到達するようにビームエネルギーが調節される。もし、照射するビームエネルギーが所定のビームエネルギーと異なると、所定の層と異なる層にビームを照射することになる。このような事態を避けるために、イオンビームの加速が終了してイオンビームを患者に照射する前にビームエネルギーを測定することが望まれる。

【0008】

本発明の目的は、加速された荷電粒子ビームを照射対象に照射する前に荷電粒子ビームのエネルギーを確認できる粒子線治療装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記した目的を達成する本発明の特徴は、円形加速器による荷電粒子ビームの加速終了後において円形加速器内を周回する荷電粒子ビームのエネルギーを判定するエネルギー判定装置を備えたことにある。エネルギー判定装置は、加速終了後において円形加速器内を周回する荷電粒子ビームのエネルギーを判定するので、荷電粒子ビームを照射対象に照射する前に荷電粒子ビームのエネルギーを確認することができる。

【0010】

好ましくは、更に、円形加速器による荷電粒子ビームの加速終了後において円形加速器内を周回する荷電粒子ビームのビーム強度を判定するビーム強度判定装置を設けると良い。これにより、荷電粒子ビームを照射対象に照射する前に荷電粒子ビームの強度を確認することができる。

【0011】

好ましくは、エネルギー判定装置は、加速終了後における、加速空洞に印加する高周波(例えば、高周波電圧)の周波数が第1許容範囲内に存在し、かつ加速終了後における、周回する荷電粒子ビームの軌道位置が第2許容範囲内に存在するとき、加速終了後に周回する荷電粒子ビームのエネルギーが正常であると判定する。

【0012】

円形加速器内を周回する荷電粒子ビームは、偏向磁場強度と荷電粒子ビームの関係が一

10

20

30

40

50

致したもののだけが加速される。このため、偏向磁場強度と荷電粒子ビームの周回周波数が分かれば、加速終了後における周回荷電粒子ビームのエネルギーを確定できる。また、偏向磁場強度が周回する荷電粒子ビームのビーム軌道位置に影響し、荷電粒子ビームの加速のために荷電粒子ビームに印加する高周波の周波数が荷電粒子ビームの周回周波数と関係する。このため、加速のために印加する高周波の周波数、及び荷電粒子ビーム軌道位置により加速終了後に周回する荷電粒子ビームのエネルギーを判定できる。

【0013】

好ましくは、エネルギー判定装置は、加速終了後における高周波の周波数が第1許容範囲外に存在し、または、加速終了後における、周回する荷電粒子ビームの軌道位置が第2許容範囲外に存在するとき、加速終了後に周回する荷電粒子ビームのエネルギーが異常である(所定のエネルギーと異なる)と判定する。

10

【0014】

好ましくは、エネルギー判定装置は、偏向電磁石の偏向磁場強度が第1許容範囲内に存在し、かつ周回する前記荷電粒子ビームの軌道位置が第2許容範囲内に存在するとき、加速終了後に周回する前記荷電粒子ビームのエネルギーが正常であると判定する。前述したように、偏向磁場強度と荷電粒子ビームの周回周波数が分かれば、加速終了後における周回荷電粒子ビームのエネルギーを確定できるため、偏向磁場強度、及び加速のために印加する高周波の周波数により加速終了後に周回する荷電粒子ビームのエネルギーを判定できる。

【0015】

20

好ましくは、エネルギー判定装置が周回する荷電粒子ビームのエネルギーが正常であると判定したとき円形加速器からの荷電粒子ビームの出射を許可し、そのエネルギーが異常であると判定したとき円形加速器からの荷電粒子ビームの出射を阻止する第1安全装置を設けるとよい。これによれば、エネルギーが異常な荷電粒子ビームの照射対象への照射を阻止できるため、照射対象の深さ方向において、意図しない(治療計画にない)位置への荷電粒子ビームの照射を避けることができる。

【0016】

好ましくは、ビーム強度判定装置が周回する荷電粒子ビームのビーム強度が正常であると判定したとき円形加速器からの荷電粒子ビームの出射を許可し、そのビーム強度が異常であると判定したとき円形加速器からの荷電粒子ビームの出射を阻止する第2安全装置を設けるとよい。これによれば、イオンビームスキャンニング法による照射において、局所的に高線量の領域が発生することが抑えられ、治療計画に基づいた患部へ照射する線量を均一にすることができる。

30

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、加速された荷電粒子ビームを照射対象に照射する前に荷電粒子ビームのエネルギーを確認できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下に、本発明の実施例を説明する。

40

【実施例1】

【0019】

本発明の実施例1の粒子線治療装置を、図1を用いて説明する。本実施例の粒子線治療装置1は、円形加速器であるシンクロトロン3、ビーム輸送装置15及び照射野形成装置(荷電粒子ビーム照射装置)16を備える。照射野形成装置は、以下、単に照射装置という。シンクロトロン3は、周回軌道に入射装置4、複数の偏向電磁石5、高周波印加装置6、加速空洞10、出射用偏向器13を設置している。図示されていないが、複数の四極電磁石もシンクロトロン3に設置される。電磁石電源23が偏向電磁石5に接続される。高周波印加装置6は、出射用スイッチ(第1開閉装置)8及び第1安全装置であるゲートスイッチ(第2開閉装置)9を介して高周波発振器(高周波電源)7に接続される。高周

50

波発振器 7 は出射用の高周波発振器である。高周波制御装置 2 4 の制御により高周波発振器（高周波電源）1 1 は、電力増幅器 1 2 を介して加速空洞 1 0 に所定の高周波電圧を与える。高周波発振器 1 1 は加速用の高周波発振器である。加速空洞 1 0 に設置される空洞電圧モニタ 1 8 は周波数計測装置 1 9 に接続される。シンクロトロン 3 に設けられるビーム位置モニタ 2 0 はビーム軌道信号処理装置（ビーム軌道位置計測装置）2 1 に接続される。ビーム位置モニタ 2 0 は、図 2 に示すように、三角形をした二組の平板状の電極を有する。一組は周回軌道を挟んで対向して配置された電極 5 5 A , 5 5 B であり、他の一組は周回軌道を挟んで対向して配置された電極 5 6 A , 5 6 B である。これらの電極はビーム軌道信号処理装置 2 1 に接続されている。周波数計測装置 1 9 及びビーム軌道信号処理装置 2 1 は、エネルギー判定処理装置 2 6 に接続される。エネルギー判定処理装置 2 6 は 10
 加速器制御装置 2 2 及びゲートスイッチ 9 に接続される。加速器制御装置 2 2 はタイミング制御装置 2 5、エネルギー判定装置 2 6、電磁石電源 2 3 及び高周波制御装置 2 4 に接続される。タイミング制御装置 2 5 は、エネルギー判定処理装置 2 6 及び出射用スイッチ 8 に接続される。

【 0 0 2 0 】

シンクロトロン 3 を構成する機器の統括制御装置として、加速器制御装置 2 2 及びタイミング制御装置 2 5 が設けられている。加速器制御装置 2 2 は各機器の制御設定値を管理し、タイミング制御装置 2 5 は各機器の動作タイミングを管理する。

【 0 0 2 1 】

粒子線治療装置 1 を用いた癌治療の概略を説明する。シンクロトロン 3 の運転は、図 4 20
 (A) に示すように、荷電粒子ビームであるイオンビーム（陽子線、または炭素イオンビーム等の重粒子線）の入射・捕獲、イオンビームを設定されたエネルギーまで高める加速、設定のエネルギーになったイオンビームの出射、及び減速が繰返される。これら入射・捕獲、加速、出射、減速といった制御は、加速するエネルギーに合わせて動作タイミングが規定される。入射・捕獲時間は、ビームの加速エネルギーに依らず常に一定である。また、エネルギーに依らず一定の勾配でイオンビームを加速・減速する場合、エネルギーが高くなれば加速・減速時間も長くなり、入射から減速までの繰返し制御時間が規定されていれば、出射時間は、入射・捕獲時間と加速・減速時間から一意に決定する。更に、エネルギー確認信号 7 5 の出力時間は、加速制御が終了後、出射制御を開始する前に設定することで、イオンビームを照射装置に供給する前にエネルギー確認が可能となる。 30

【 0 0 2 2 】

粒子線治療装置 1 を用いた癌治療の概略を説明する。シンクロトロン 3 の運転は、図 4
 (A) に示すように、荷電粒子ビームであるイオンビーム（陽子線、または炭素イオンビーム等の重粒子線）の入射・捕獲、イオンビームを設定されたエネルギーまで高める加速、設定のエネルギーになったイオンビームの出射、及び減速が繰返される。

【 0 0 2 3 】

治療用ベッド 1 7 上の患者の患部に照射されるイオンビームのエネルギーは、患者の体表面からその患部の深さによって定まる。このエネルギーは、シンクロトロン 3 による加速終了後におけるイオンビームのエネルギー（設定エネルギーという）であり、治療前の治療計画で決定される。加速器制御装置 2 2 は治療計画情報記憶装置（図示せず）から該 40
 当する患者に対する設定エネルギー情報を取り込む。加速器制御装置 2 2 は、その設定エネルギー情報に基づいて定まる図 4 (A) に示すシンクロトロン 3 の運転パターンに沿って、シンクロトロンを構成する機器の動作タイミング情報をタイミング制御装置 2 5 に、偏向電磁石 5 の磁場強度（偏向磁場強度）及び加速空洞 1 0 に印加する高周波電圧の周波数を制御するために、電磁石電源 2 3 の運転パターンを設定する制御指令 7 1 を電磁石電源 2 3 に、また、高周波発振器 1 1 の運転パターンを設定する制御指令 7 2 を高周波制御装置 2 4 に出力する。加速器制御装置 2 2 は加速終了後におけるイオンビームの設定エネルギーに合わせた制御タイミング情報 7 8 をタイミング制御装置 7 1 に設定する。更に、加速器制御装置 2 2 は、設定エネルギーに合わせて、周回ビーム軌道の基準値、その軌道のずれの許容範囲、高周波電圧の周波数の基準値及びその周波数の許容範囲等の設定情報 50

78をエネルギー判定処理装置72に設定する。なお、エネルギー判定処理装置72の機能は、粒子線治療装置1の安全装置であるインターロック制御装置(図示せず)内に取り込んでよい。

【0024】

まず、イオンビームが前段加速器2からシンクロトロン3に入射される。本実施例ではイオンビームとして粒子線を用いる。イオンビームが入射される際、制御指令71で設定された運転パターンにより該当する電磁石電源23が制御されるため、シンクロトロン3の各四極電磁石及び偏向電磁石5は所定の電流で励磁されている。シンクロトロン3内でイオンビーム14は、加速空洞10で印加された高周波電圧により集群化する。加速空洞10から高周波電圧の印加は、設定された運転パターンに基づいて高周波制御装置24が高周波発振器11を制御することにより行われる。高周波発振器11からの高周波電圧は、電力増幅器12で増幅され、加速空洞10に導かれる。イオンビーム14の集群化は、加速空洞10に印加した高周波電圧により、イオンビーム14を安定に加速可能な領域(以下、高周波バケット)を形成することで実現される。この高周波電圧でビームを集群化する制御を高周波捕獲と言い、集群化したビームをバンチビームと言う。

10

【0025】

集群化したイオンビーム14を加速する際には、周回するイオンビームのエネルギーが設定エネルギーになるまで、設定された運転パターンに基づいた電磁石電源23の制御により各四極電磁石及び偏向電磁石5の励磁電流、すなわち磁場強度が増大される。また、運転パターンに基づいた高周波制御装置24による高周波発振器11の制御により、加速空洞10に印加する高周波電圧の周波数を増加させる。すなわち、設定偏向電磁石5の磁場強度の増大に伴って、その高周波電圧の周波数が増大する。この際、偏向磁場強度と高周波電圧の周波数との間に所定の関係(後述の(数5)に示す関係)が成立するように、加速器制御装置22からの各制御指令に基づいて加速器電源23及び高周波発振器11を制御することによって、集群化したイオンビーム(バンチビーム)14を、シンクロトロン3内の周回軌道に沿って周回させながら設定されたエネルギーまで加速することが可能となる。

20

【0026】

周回するイオンビームのエネルギーが設定エネルギーに達した後、タイミング制御装置25から出射許可信号75が出力されると、出射用スイッチ8が閉じて、高周波発振器7から出力された高周波信号が、高周波印加装置6に導かれる。このとき、ゲートスイッチ9はエネルギー判定処理装置26からのエネルギー正常信号(後述)により閉じられている。高周波信号が高周波印加装置6によって周回するイオンビームに印加される。このイオンビームは、ベータトロン振動振幅を増大させて安定限界の外に移動して出射用偏向器13より出射される(特許第2596292号公報参照)。出射されたイオンビームは、ビーム輸送装置15を介して照射装置16に輸送され、照射装置16より治療ベッド17上の患者の患部に照射される。

30

【0027】

本実施例の特徴である周回するイオンビーム14のエネルギー測定について説明する前に、イオンビーム14のエネルギーと偏向磁場強度、周波数、ビーム軌道の関係を簡単に説明する。周回ビームのエネルギーEと運動量pは、近似的に(数1)に示す関係が成立する。ただし、cは光速である。

40

【0028】

【数1】

$$E \cong cp \quad \dots (1)$$

【0029】

また、運動量の変化による計測位置でのビーム重心の軌道変位 x は、(数2)のように示される。ただし、 x はシンクロトロン3での測定位置(ビーム位置モニタ20の設置位置)でのイオンビーム軌道位置の変位、及び σ は測定位置での分散関数である。

50

【 0 0 3 0 】

【 数 2 】

$$\Delta x = \eta \frac{\Delta p}{p} \quad \dots (2)$$

【 0 0 3 1 】

運動量 p と偏向磁場強度 B は、 $p = e B \rho$ の関係により、(数 3) のように表される。ただし、 e は電荷量であり、 ρ は偏向磁場によるイオンビーム 14 の偏向半径である。

【 0 0 3 2 】

【 数 3 】

$$\frac{\Delta p}{p} = e \rho \frac{\Delta B}{B} \quad \dots (3)$$

10

【 0 0 3 3 】

一方、運動量 p と偏向磁場強度 B との関係より、(数 2) は、(数 3) に示したように、偏向磁場強度の変化が運動量に変化を生じさせることが得られ、しいては(数 4) に示したように、ビーム重心の軌道位置の変位 Δx も生じることが示される。

【 0 0 3 4 】

【 数 4 】

$$\Delta x = e \rho \eta \frac{\Delta B}{B} \quad \dots (4)$$

20

【 0 0 3 5 】

また、周回するイオンビーム 14 の周回周波数 f は、(数 5) に示すように、偏向磁場強度 B の関数として表すことができる。ただし、 h はプランク定数、 R はシンクロトロン 3 の平均半径、 m_0 は周回する荷電粒子の静止質量である。

【 0 0 3 6 】

【 数 5 】

$$f = \frac{ch}{2\pi R} \left[1 + \left(\frac{m_0 c}{e B \rho} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad \dots (5)$$

30

【 0 0 3 7 】

シンクロトロン 3 におけるイオンビーム加速制御は、制御応答性の低い偏向磁場強度 B を基準にイオンビーム 14 の周回周波数を制御することによって行われる。高周波加速制御装置 31 は、偏向磁場強度の変化を検出し(図示せず)、加速用高周波発振器 32 に設定する周波数を制御する。そのため、偏向磁場強度及び高周波電圧の周波数が(数 5) の関係を有していれば、イオンビーム 14 はシンクロトロン 3 内で所定の軌道を周回するので、加速終了時におけるイオンビーム 14 のエネルギーに対する偏向磁場強度と、イオンビーム 14 に印加する高周波電圧の周波数も(数 5) の関係を有していれば、シンクロトロン 3 内のイオンビーム軌道は一定となる。偏向磁場強度もしくは高周波電圧の周波数がずれて(数 5) の関係が保たれない状態でイオンビーム 14 が加速された場合には、加速終了時におけるイオンビーム軌道の位置が変化するため、加速終了後のイオンビームのエネルギーが設定エネルギーでない恐れがある。

40

【 0 0 3 8 】

イオンビーム 14 のエネルギーが設定エネルギーになるまでイオンビーム 14 を加速した際のイオンビーム軌道の位置と高周波電圧の周波数は、それぞれビーム位置モニタ 20 及び空洞電圧モニタ 18 で測定される。ビーム位置モニタ 20 は、イオンビーム 14 の通過により、一対の電極 55A と電極 55B の間に電圧 V_L を、他の一対の電極 56A と電極 56B の間に電圧 V_R を発生させる。これらの電圧を用いて(数 6) に示される簡便な信号処理を行うことにより、ビーム位置モニタ 20 の設置位置でのイオンビーム軌道位置 x を検出することが可能である。ただし、 W はビーム位置モニタ 20 における電極幅

50

である。

【 0 0 3 9 】

【 数 6 】

$$x = \frac{W}{2} \frac{V_R - V_L}{V_R + V_L} \quad \dots (6)$$

【 0 0 4 0 】

本実施例におけるイオンビーム 1 4 のエネルギー測定について説明する。上記の(数 6)に基づいた信号処理は、電圧 V_L , V_R を入力するビーム軌道信号処理装置 2 1 で行われる。また、高周波電圧の周波数は、周波数計測装置 1 9 において、空洞電圧モニタ 1 8 で検出された空洞電圧信号を用いて測定される。周波数計測装置 1 9 としては周波数カウンタ、スペクトラムアナライザまたは周波数 - 電圧変換器が用いられる。

10

【 0 0 4 1 】

ビーム軌道信号処理装置 2 1 で得られたイオンビーム軌道位置 x の測定値 R_{mes} 、及び周波数計測装置 1 9 で得られた高周波電圧の周波数(以下、加速周波数という)の測定値 F_{mes} はエネルギー判定処理装置 2 6 に入力される。エネルギー判定装置 2 6 におけるエネルギー判定の処理を、図 3 を用いて詳細に説明する。

【 0 0 4 2 】

加速器制御装置 2 2 から、設定エネルギーに対応した設定情報 7 8 を入力する(ステップ 3 0)。設定情報 7 8 は、加速終了時のイオンビーム軌道位置 x の基準値 R_{des} 及びこの基準値に対する許容範囲 R_{err} 、及び高周波電圧の周波数(加速周波数という)の基準値 F_{des} 及びこの基準値に対する許容範囲 F_{err} である。加速終了後のエネルギー確認時(図 4 (A) 参照)にタイミング制御装置 2 5 から出力されたエネルギー確認信号 7 5 を入力する(ステップ 3 1)。エネルギー確認信号 7 5 の入力後に、ビーム軌道信号処理装置 2 1 からイオンビーム軌道位置 x の測定値 R_{mes} を、周波数計測装置 1 9 から加速周波数の測定値 F_{mes} をそれぞれ入力する(ステップ 3 2, 3 3)。測定値 R_{mes} 及び F_{mes} は、それぞれ、エネルギー確認信号 7 5 の出力後に測定された値である。エネルギー確認信号 7 5 の入力後に測定値 R_{mes} 及び F_{mes} を入力することは、エネルギー確認信号 7 5 の出力後にイオンビーム軌道位置 x 及び加速周波数が測定されることになる。ステップ 3 4 において、測定値 R_{mes} と基準値 R_{des} とのずれ R_{dev} の絶対値を算出する。すなわち、 $R_{dev} = |R_{mes} - R_{des}|$ を計算する。ステップ 3 5 において、測定値 F_{mes} と基準値 F_{des} とのずれ F_{dev} の絶対値を算出する。すなわち、 $F_{dev} = |F_{mes} - F_{des}|$ を計算する。更に、 $R_{dev} > R_{err}$ を満足するかが判定される(ステップ 3 6)。ステップ 3 6 の判定が「NO」であれば、 $F_{dev} > F_{err}$ を満足するかが判定される(ステップ 3 7)。ステップ 3 7 の判定が「NO」であれば、イオンビーム 1 4 のエネルギーは、設定エネルギーになっており、正常なエネルギーであると判定する(ステップ 3 8)。このため、エネルギー判定信号 7 7 としてエネルギー正常信号を、加速器制御装置 2 2 及びゲートスイッチ 9 に出力する(ステップ 3 9)。このエネルギー正常信号によりゲートスイッチ 9 は閉じられる。エネルギー正常信号の出力は、加速終了後のイオンビーム 1 4 のエネルギーが設定エネルギーであることを意味する。ステップ 3 6 またはステップ 3 7 の判定が「Yes」である場合には、イオンビーム 1 4 のエネルギーが設定エネルギーからずれており、異常なエネルギーであると判定する(ステップ 4 0)。そして、エネルギー判定信号 7 7 としてエネルギー異常信号を、加速器制御装置 2 2 及びゲートスイッチ 9 に出力する(ステップ 4 1)。エネルギー異常信号の出力は、加速終了後のイオンビーム 1 4 のエネルギーが設定エネルギーからずれていることを意味する。ゲートスイッチ 9 は、エネルギー正常信号が出力された場合には閉じられており、エネルギー異常信号が出力された場合には開く。エネルギー異常信号の出力は、高周波印加装置 6 からの高周波信号の印加を阻止し、シンクロトロン 3 からのイオンビームの出射を停止させる。エネルギー判定処理装置 2 6 は、ステップ 3 8 または 3 9 が終了した後、次の加速終了まで待機する(ステップ 4 2)。図 4 (B) は以上に述べたエネルギー判定処理を時系列的にまとめて表示している。

20

30

40

【 0 0 4 3 】

50

エネルギー判定信号 77 を入力した加速器制御装置 22 は、エネルギー正常信号またはエネルギー異常信号に対応して、照射装置 16 へのイオンビーム 14 の供給状態を監視する。

【0044】

エネルギー判定処理装置 26 からエネルギー正常信号が出力されてゲートスイッチ 9 が閉じられており、前述の出射許可信号 75 の出力により出射用スイッチ 8 が閉じられたときに、イオンビーム 14 が、前述したようにシンクロトロン 3 からイオンビーム 14 が出射されて患者の患部に照射される。エネルギー判定処理装置 26 からエネルギー異常信号が出力されてゲートスイッチ 9 が開いているときには、出射許可信号 75 の出力により出射用スイッチ 8 が閉じられても、高周波印加装置 6 に高周波信号が印加されないため、シンクロトロン 3 からイオンビームが出射されない。

10

【0045】

次に、エネルギー判定処理装置 26 でのエネルギー判定処理に用いる設定情報 78 の作成を、図 5 を用いて説明する。まず、エネルギー変動の許容範囲を設定する（ステップ 45）。この許容範囲は、例えば、イオンビームスキニング法によるイオンビームの照射では、設定エネルギー $\pm 0.1\%$ 以下とされている。エネルギー変動の許容範囲は、設定エネルギーにより異なるため、予め粒子線治療装置 1 として決定しておく。そして、シンクロトロン 3 でイオンビーム調整運転を実施する（ステップ 46）。この調整運転では、設定エネルギーまでイオンビーム 14 が加速できるように偏向磁場強度に対する加速周波数を調整し、所定の電荷量のイオンビームがシンクロトロン 3 から出射可能なように、シンクロトロン 3 に設けられた各電磁石の励磁量及び加速周波数などを調整する。

20

【0046】

上記の調整終了後、所定電荷のイオンビームの出射が可能かを判定する（ステップ 47）。「NO」であれば、再度、ステップ 46 の調整運転を行い、各電磁石の励磁量及び加速周波数などを調整する。ステップ 47 の判定が「YES」の場合には、照射装置 16 へイオンビームを輸送し、照射装置 16 の下流に設置した水ファントムなどの線量計で照射装置を通過したイオンビームの飛程を計測する（ステップ 48）。この飛程の計測結果に基づいて、シンクロトロン 3 で加速されて出射されたイオンビームのエネルギーが確定される（ステップ 49）。

【0047】

イオンビームの加速終了時点における、加速空洞 10 に印加した高周波電圧の周波数、及びイオンビーム軌道位置のそれぞれを計測する（ステップ 50）。加速周波数及びイオンビーム重心の軌道位置の基準値は、上記のそれぞれの計測で得たそれぞれの計測値とする。また、加速周波数及びイオンビーム軌道位置のそれぞれの基準値に対する許容範囲を算出する（ステップ 51）。これらの許容範囲は、それぞれの基準値、及びステップ 45 で確定された、出射されたイオンビームのエネルギー、ステップ 50 で特定された加速周波数及びイオンビーム軌道位置のそれぞれの基準値、及びステップ 51 で算出されたそれぞれの許容範囲を用いて、一つのエネルギーに対するテーブルデータを作成する（ステップ 53）。最後に、シンクロトロン 3 の一連の運転制御値とイオンビームエネルギーの測定結果および、テーブルデータを関連付けて、シンクロトロン 3 の加速制御パターンデータを作成する（ステップ 52）。シンクロトロン 3 から出射されるエネルギーを種々変えて上記した処理をそれぞれ実行し、異なるエネルギーに対する加速周波数及びイオンビーム軌道位置の基準値及び許容範囲を求める。図 5 に示す処理で得られた加速周波数及びイオンビーム軌道位置の基準値及び許容範囲は、設定情報 78 としてイオンビームのエネルギー判定処理に用いられる。

30

40

【0048】

本実施例によれば、加速周波数及びイオンビーム軌道位置を用いて、シンクロトロン 3 内を周回しているイオンビーム 14 のエネルギーが設定エネルギーであるかを患者にイオンビーム 14 を照射する前で加速器からイオンビームの出射が可能な状態（イオンビームの加速が終了した状態）で確認することができる。このため、患者に設定エネルギーのイ

50

オンビーム 14 を照射でき、患者の体内においてイオンビーム 14 の到達する位置（ブラッグピークが形成される位置）が治療計画で設定したイオンビームの到達位置（設定到達位置）からずれることを防止できる。特に、上記したイオンビーム 14 のエネルギーは、イオンビーム 14 の加速終了後でシンクロトロン 3 から出射する前に確認できる。また、加速終了後におけるイオンビーム 14 のエネルギーが設定エネルギーと異なっているときに、ゲートスイッチ 9 が開くので、設定エネルギーと異なる値のエネルギーを有するイオンビーム 14 を、シンクロトロン 3 から出射すること、すなわち患者に照射することを防止できる。このため、粒子線治療装置 1 の安全性が著しく向上する。設定エネルギーと異なる値のエネルギーを有するイオンビーム 14 を患者に照射した場合には、患部以外の正常な細胞の位置でブラッグピークが形成され、正常な細胞に著しいダメージを与えてしま

10

【実施例 2】**【0049】**

本発明の他の実施例である粒子線治療装置 1 A を、図 6 を用いて説明する。粒子線治療装置 1 A は、前述の粒子線治療装置 1 と、空洞電圧モニタ 18、周波数計測装置 19 及びエネルギー判定処理装置 26 の替りに磁場検出素子 60、偏向磁場強度計測装置 62 及びエネルギー判定処理装置 26 A を用いている点が異なっている。粒子線治療装置 1 A の他の構成は粒子線治療装置 1 の構成と同じである。磁場検出素子 60 は偏向電磁石 5 に設置される。磁場検出素子 60 に接続される偏向磁場強度計測装置 62 はエネルギー判定処理装置 62 に接続される。磁場検出素子 60 としては、ホール素子のような絶対磁場を検出する素子、またはサーチコイル（特許第 3269437 号参照）のような相対磁場を検出する素子を用いる。

20

【0050】

本実施例では、磁場検出素子 60 として絶対磁場を検出するホール素子を用いる。磁場検出素子 60 の検出信号が偏向磁場強度計測装置 62 に入力される。偏向磁場強度計測装置 62 は、その検出信号を基に偏向磁場強度を計測し、偏向磁場強度の測定値をエネルギー判定処理装置 26 A に出力する。エネルギー判定装置 26 A は、偏向磁場強度の測定値 B_{mes} 及びイオンビーム軌道位置 x の測定値 R_{mes} を用いて、図 3 に示すエネルギー判定処理を訂正した訂正エネルギー判定処理を実行し、加速終了時においてシンクロトロン 3 内

30

【0051】

本実施例によれば、偏向磁場強度及びイオンビーム軌道位置を用いて、シンクロトロン 3 内を周回しているイオンビーム 14 のエネルギーが設定エネルギーであるかを患者にイ

40

【0052】

オンビーム 14 を照射する前でイオンビームの出射が可能になった状態で確認することができる。このような本実施例は、実施例 1 で生じる効果を得ることができる。

【実施例 3】**【0053】**

本発明の他の実施例である粒子線治療装置 1 B を、図 7 を用いて説明する。本実施例の

50

粒子線治療装置 1 B は、実施例 1 における粒子線治療装置 1 と、空洞電圧モニタ 1 8 及び周波数計測装置 1 9 を設置していなく、エネルギー判定処理装置 2 6 をビーム軌道判定装置 6 3 , 周波数判定装置 6 4 及び判定情報出力装置 6 5 に替えた点で異なっている。粒子線治療装置 1 B の他の構成は粒子線治療装置 1 の構成と同じである。ビーム軌道判定装置 6 3 , 周波数判定装置 6 4 及び判定情報出力装置 6 5 は、実質的にエネルギー判定処理装置 2 6 を構成する。

【 0 0 5 4 】

高周波制御装置及びビーム軌道信号処理装置は、昨今のデジタル技術の進歩により、D S P (Digital Signal Processor) 等を用いたデジタル信号処理回路で構成されることが多い。本実施例は、実施例 1 の高周波制御装置 2 4 の替りに D S P を用いたデジタル信号処理回路を含む高周波制御装置 2 4 A を備え、更にビーム軌道信号処理装置 2 1 の替りに D S P を用いたデジタル信号処理回路を含むビーム軌道信号処理装置 (ビーム軌道位置計測装置) 2 1 A を備える。周波数判定装置 6 4 は高周波制御装置 2 4 A に接続される。ビーム軌道判定装置 6 3 はビーム軌道信号処理装置 2 1 A に接続される。高周波制御装置 2 4 A を採用しているため、加速空洞に印加する高周波電圧の発振器もデジタル発振器 1 1 A を採用し、高純度で再現性の高い高周波信号を得ている。また、デジタル発振器 1 1 A から出力する高周波信号の周波数は、周波数高周波制御装置 2 4 A からデジタル値で設定され、発振器から忠実に出力される。そのため、加速空洞に用意した空洞電圧モニタからの出力信号をスペクトラムアナライザなどの周波数計測装置を利用しなくても、デジタル発振器 1 1 A に設定した高周波電圧の周波数を確認することで、周波数を外部で計測した場合と同様の結果を得ることが可能である。

【 0 0 5 5 】

周波数判定装置 6 4 は図 3 に示すエネルギー判定処理のうちステップ 3 0 , 3 1 , 3 3 , 3 5 , 3 7 の処理を実行する。周波数判定装置 6 4 は、ステップ 3 0 で、加速器制御装置 2 2 から、設定エネルギーに対応した設定情報 7 8 A である基準値 F_{des} 及び許容範囲 F_{err} を入力する。その後、ステップ 3 1 , 3 3 , 3 5 , 3 7 の処理を行う。ただし、ステップ 3 3 では、高周波制御装置 2 4 A から、デジタル発振器 1 1 A に設定した周波数を測定値 F_{mes} として入力する。ビーム軌道判定装置 6 3 は図 3 に示すエネルギー判定処理のうちステップ 3 0 ~ 3 2 , 3 4 , 3 6 の処理を実行する。ビーム軌道判定装置 6 3 は、ステップ 3 0 で、加速器制御装置 2 2 から、設定エネルギーに対応した設定情報 7 8 B である基準値 R_{des} 及び許容範囲 R_{err} を入力する。その後、ステップ 3 1 , 3 2 , 3 4 , 3 6 の処理を行う。

【 0 0 5 6 】

判定情報出力装置 6 5 は、ビーム軌道判定装置 6 3 からステップ 3 6 の判定情報 8 5 を、周波数判定装置 6 4 からステップ 3 7 の判定情報 8 4 を入力する。判定情報出力装置 6 5 は、判定情報 8 4 , 8 5 が共に「 N O 」の場合には図 3 に示すステップ 3 8 , 3 9 の処理を実行し、エネルギー判定信号 7 7 であるエネルギー正常信号を加速器制御装置 2 2 及びゲートスイッチ 9 に出力する。判定情報出力装置 6 5 は、判定情報 8 4 または判定情報 8 5 が「 Y E S 」の場合には図 3 に示すステップ 4 0 , 4 1 の処理を実行し、エネルギー判定信号 7 7 であるエネルギー異常信号を加速器制御装置 2 2 及びゲートスイッチ 9 に出力する。

【 0 0 5 7 】

実施例 3 も実施例 1 で生じる効果を得ることができる。

【 実施例 4 】

【 0 0 5 8 】

本発明の他の実施例である粒子線治療装置 1 C を、図 8 を用いて説明する。本実施例の粒子線治療装置 1 C は、実施例 2 における粒子線治療装置 1 A と、エネルギー判定処理装置 2 6 A をビーム軌道判定装置 6 3 , 偏向磁場強度判定装置 6 6 及び判定情報出力装置 6 5 に替えた点で異なっている。粒子線治療装置 1 C の他の構成は粒子線治療装置 1 A の構成と同じである。ビーム軌道判定装置 6 3 , 偏向磁場強度判定装置 6 6 及び判定情報出

10

20

30

40

50

力装置 65 は、実質的にエネルギー判定処理装置 26A を構成する。偏向磁場強度判定装置 66 は偏向磁場強度計測装置 62 に接続される。

【0059】

偏向磁場強度判定装置 66 は実施例 2 で述べた訂正エネルギー判定処理のうちステップ 30, 31, 33, 35, 37 の処理を実行する。偏向磁場強度判定装置 66 は、ステップ 30 で、加速器制御装置 22 から、設定エネルギーに対応した設定情報 79A である基準値 B_{des} 及び許容範囲 B_{err} を入力する。その後、ステップ 31, 33, 35, 37 の処理を行う。ビーム軌道判定装置 63 は実施例 2 で述べた訂正エネルギー判定処理のうちステップ 30 ~ 32, 34, 36 の処理を実行する。ビーム軌道判定装置 63 は、ステップ 30 で、加速器制御装置 22 から、設定情報 78B である基準値 R_{des} 及び許容範囲 R_{err} を入力する。その後、ステップ 31, 32, 34, 36 の処理を行う。

10

【0060】

判定情報出力装置 65 は、ビーム軌道判定装置 63 からステップ 36 の判定情報 85 を、偏向磁場強度判定装置 66 からステップ 37 の判定情報 86 を入力する。判定情報出力装置 65 は、判定情報 85, 86 が共に「NO」の場合にはステップ 38, 39 の処理を実行し、エネルギー判定信号 77 であるエネルギー正常信号を加速器制御装置 22 及びゲートスイッチ 9 に出力する。判定情報出力装置 65 は、判定情報 85 または判定情報 86 が「YES」の場合にはステップ 40, 41 の処理を実行し、エネルギー判定信号 77 であるエネルギー異常信号を加速器制御装置 22 及びゲートスイッチ 9 に出力する。

【0061】

実施例 4 も実施例 2 で生じる効果を得ることができる。

20

【実施例 5】

【0062】

本発明の他の実施例である粒子線治療装置 1D を、図 9 を用いて説明する。本実施例の粒子線治療装置 1D は、実施例 1 における粒子線治療装置 1 に、ビーム強度判定装置 67 及び第 2 安全装置であるゲートスイッチ（第 3 開閉装置）68 を付加した構成を有する。更に、粒子線治療装置 1D はビーム信号処理装置 54 を備える。粒子線治療装置 1D の他の構成は粒子線治療装置 1 の構成と同じである。ゲートスイッチ 68 は、高周波印加装置 6 とゲートスイッチ 9 との間に配置され、それらに接続されている。ビーム信号処理装置 54 はビーム位置モニタ 20 の二組の電極（電極 68A, 68B、及び電極 69A, 69B）に接続される。ビーム強度判定装置 67 は、ビーム信号処理装置 54 の包絡線検波装置 55（後述）、加速器制御装置 22、タイミング制御装置 25 及びゲートスイッチ 68 に接続される。ビーム強度判定装置 67 はエネルギー判定装置 26 とは別に設けられている。

30

【0063】

シンクロトロン 3 内を周回するイオンビームの強度は、ビーム位置モニタ 20 の二組の電極（電極 68A, 68B、及び電極 69A, 69B）のそれぞれから出力される信号を包絡線検波することにより、平均電荷量として計測することが可能である。ビーム信号処理装置 54 は、実施例 1 に用いられるビーム軌道信号処理装置 21（図 9 には図示せず）、及び上記包絡線検波を行う包絡線検波装置 55（図 10 参照）を有する。ビーム軌道信号処理装置 21 及び包絡線検波装置 55 は、ビーム位置モニタ 20 の上記した二組の電極に接続される。図 11 に示す電圧波形がビーム位置モニタ 20 から出力される。この電圧波形は上記の二組の電極の出力和から得られ、ビーム軌道信号処理装置 21 及び包絡線検波装置 55 の両方に入力される。その電圧波形はシンクロトロン 3 内を周回するイオンビーム 14 のパンチ形状を示している。上記した平均電荷量、すなわちイオンビーム強度は、パンチ波形の負側に直流成分として検出されるため、ビーム位置モニタ 20 の両電極から出力される信号（ V_R , V_L ）を加算し、かつ加算結果の負側を包絡線検波する包絡線検波装置 55 によって得られる。包絡線検波装置 55 によって計測されたイオンビーム強度の測定値 I_{mes} はビーム強度判定装置 67 に入力される。

40

【0064】

50

エネルギー判定装置 26 は、実施例 1 と同様に、ビーム軌道信号処理装置 21 から測定値 R_{mes} を、周波数計測装置 19 から測定値 F_{mes} をそれぞれ入力し、図 3 に示す処理を事項してエネルギー正常信号またはエネルギー異常信号を、加速器制御装置 22 及びゲートスイッチ 9 に出力する。

【0065】

ビーム強度判定装置 67 で実行されるイオンビーム強度の判定処理を以下に説明する。まず、設定情報 80 である治療計画で決定された設定イオンビーム強度に対応したイオン強度の基準値 V_{des} 及びこの基準値に対する許容範囲 V_{err} を加速器制御装置 22 から入力する。エネルギー確認信号 75 の入力後に、エネルギー確認信号の出力後に測定された測定値 I_{mes} を入力する。測定値 I_{mes} と基準値 I_{des} とのずれ I_{dev} の絶対値を算出する。すなわち、 $I_{dev} = |I_{mes} - I_{des}|$ を計算する。更に、 $I_{dev} > I_{err}$ を満足するかが判定される。この判定が「NO」であれば、イオンビーム 14 の強度が、設定イオンビーム強度になっており、正常であると判定する。このため、イオンビーム強度判定信号 89 として強度正常信号を、加速器制御装置 22 及びゲートスイッチ 68 に出力する。強度正常信号によりゲートスイッチ 68 は閉じられる。強度正常信号の出力は、加速終了後のイオンビーム 14 の強度が設定イオンビーム強度に一致していることを意味する。上記の判定が「Yes」である場合には、イオンビーム 14 の強度が設定イオンビーム強度からずれた異常状態であり、強度判定信号 89 として強度異常信号を、加速器制御装置 22 及びゲートスイッチ 68 に出力する。ゲートスイッチ 68 は、強度正常信号が出力された場合には閉じられており、強度異常信号が出力された場合には開く。強度異常信号の出力は、高周波印加装置 6 からの高周波信号の印加を阻止し、シンクロトロン 3 からのイオンビームの出射を停止させる。

【0066】

本実施例は、実施例 1 で生じる効果を得ることができる。更に、以下の効果を得ることができる。すなわち、シンクロトロン 3 に設けたビーム位置モニタ 20 の出力に基づいて、加速終了後においてシンクロトロン 3 内を周回するイオンビーム 14 の強度を出射前に計測することができるため、患者に照射されるイオンビーム 14 の強度を事前に確認することができる。このため、患者の患部（目標領域）に設定イオンビーム強度を有するイオンビーム 14 を照射できる。特に、目標領域が深さ方向に複数の層に分割され層毎にイオンビーム 14 を照射する場合には、深い位置に位置するある層にイオンビーム 14 を照射する際に、それよりも浅い位置に位置する他の層にもイオンビームが照射されるため、浅い位置にある他の層において深い位置の層と重なる領域に照射するイオンビームの強度は低くする必要がある。このような場合でも、本実施例は、他の層に照射するイオンビームの強度がその層に対する設定イオンビーム強度を、患者にイオンビームを照射する前でイオンビームの出射が可能になった状態で確認することができるので、その領域に設定イオンビーム強度のイオンビームを照射することができる。もし、イオンビーム強度が設定イオンビーム強度からずれている場合には、加速器からのイオンビームの出射を阻止ことができ、患者へのそのイオンビームの照射を防止することができる。

【0067】

本実施例は、イオンビームのエネルギー及び強度が設定エネルギー及び設定イオンビーム強度になっているかを、イオンビームの加速終了後で患者に照射する前に確認できる。イオンビームのエネルギー及び強度の少なくとも一方が異常状態にあるときには、そのイオンビームの患者への照射を避けることができる。

【0068】

本実施例に用いられたビーム強度判定装置 67、ゲートスイッチ 68 及びビーム信号処理装置 54 は、前述の実施例 2～4 に適用することができる。ただし、実施例 3 においては、ビーム信号処理装置 54 はビーム軌道信号処理装置 21 ではなくビーム軌道信号処理装置 21A を含んでいる。

【図面の簡単な説明】

【0069】

10

20

30

40

50

【図 1】本発明の好適な一実施例である実施例 1 の粒子線治療装置の構成図である。

【図 2】図 1 のビーム位置モニタの構成図である。

【図 3】図 2 のエネルギー判定処理装置で実行される処理フローを示す説明図である。

【図 4】シンクロトロンの運転を示し、(A) はその運転の内容を示す説明図であり、(B) は (A) におけるエネルギー確認時における詳細内容を示す説明図である。

【図 5】設定情報の作成フローを示す説明図である。

【図 6】本発明の他の実施例である実施例 2 の粒子線治療装置の構成図である。

【図 7】本発明の他の実施例である実施例 3 の粒子線治療装置の構成図である。

【図 8】本発明の他の実施例である実施例 4 の粒子線治療装置の構成図である。

【図 9】本発明の他の実施例である実施例 5 の粒子線治療装置の構成図である。

10

【図 10】図 9 におけるビーム位置モニタから出力される信号の波形を示す説明図である。

【図 11】図 9 のビーム軌道信号処理装置に備えられた包絡線検波回路の構成図である。

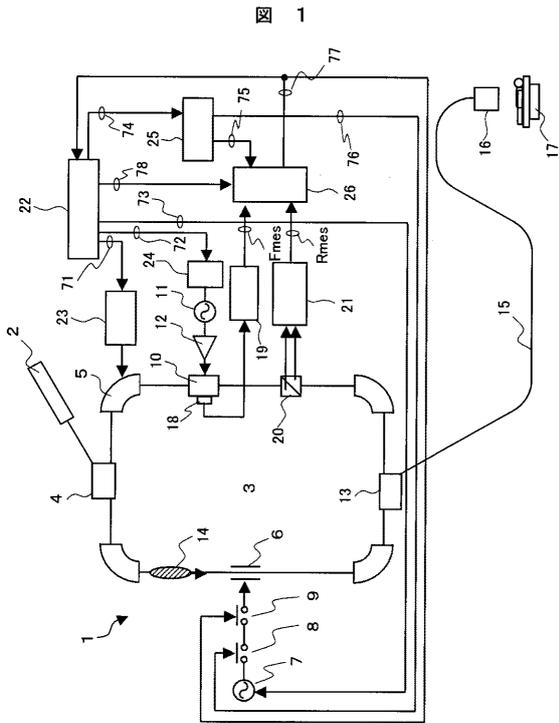
【符号の説明】

【 0 0 7 0 】

1 , 1 A , 1 B ... 粒子線治療装置、 3 ... シンクロトロン、 5 ... 偏向電磁石、 6 ... 高周波印加装置、 7 , 1 1 , 1 1 A ... 高周波発振器、 8 ... 出射用スイッチ、 9 , 6 8 ... ゲートスイッチ、 1 0 ... 加速空洞、 1 5 ... ビーム輸送装置、 1 6 ... 照射野形成装置、 1 8 ... 空洞電圧モニタ、 1 9 ... 周波数計測装置、 2 0 ... ビーム位置モニタ、 2 1 , 2 1 A ... ビーム軌道信号処理装置 (ビーム軌道位置計測装置)、 2 2 ... 加速器制御装置、 2 4 , 2 4 A ... 高周波制御装置、 2 5 ... タイミング制御装置、 2 6 , 2 6 A ... エネルギー判定装置、 5 4 ... ビーム信号処理装置、 5 5 ... 包絡線検波装置、 6 0 ... 磁場検出素子、 6 2 ... 偏向磁場強度計測装置、 6 3 ... ビーム軌道判定装置、 6 4 ... 周波数判定装置、 6 5 ... 判定情報出力装置、 6 6 ... 偏向磁場強度判定装置。

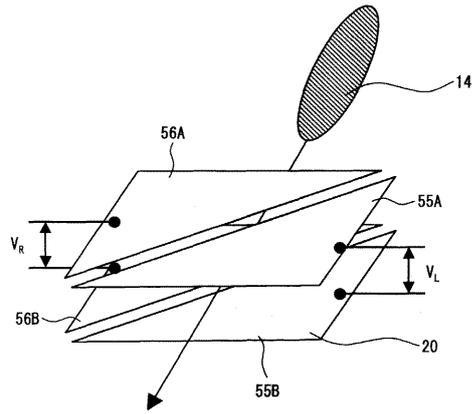
20

【図1】



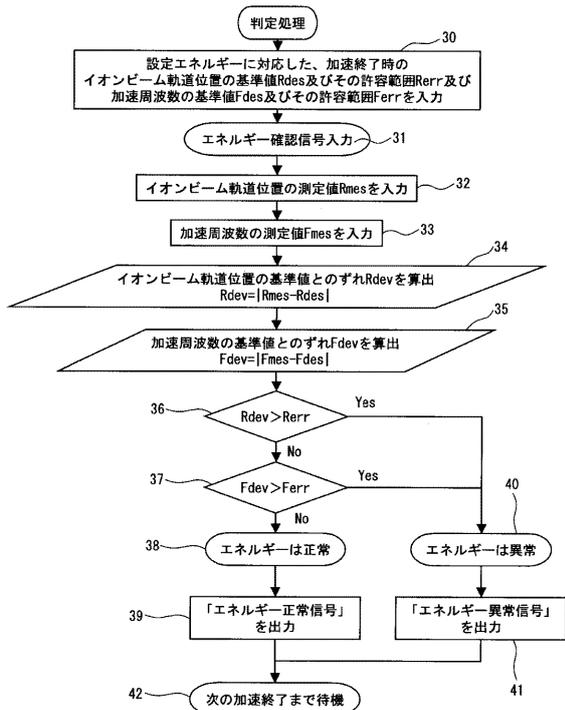
【図2】

図2



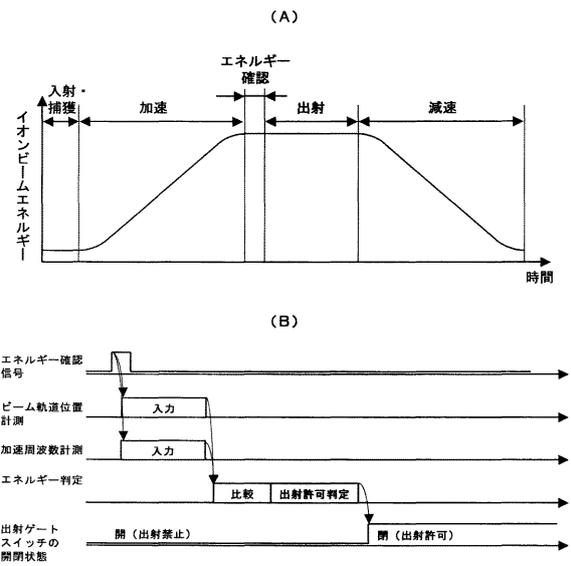
【図3】

図3



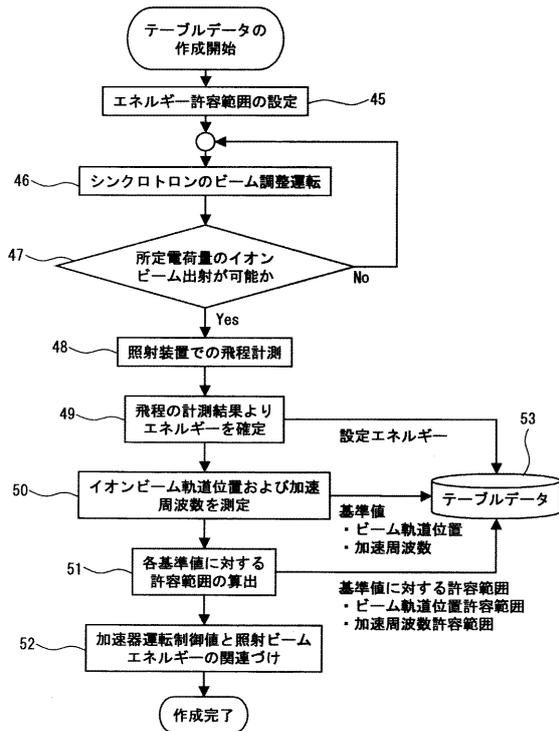
【図4】

図4



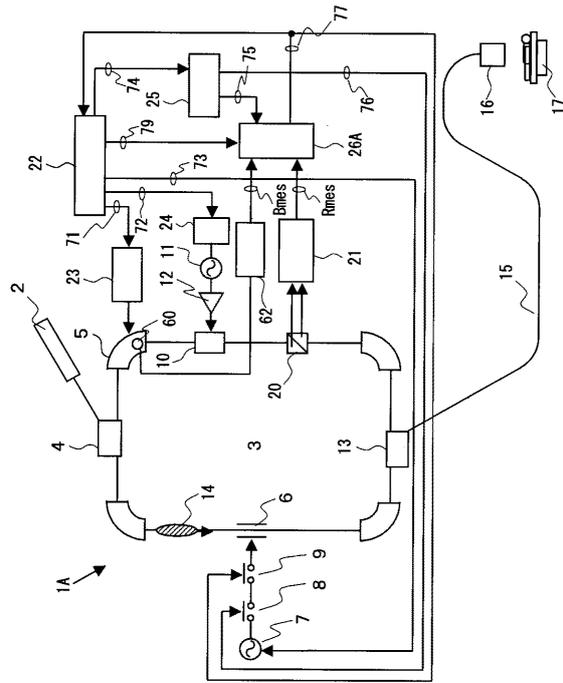
【 図 5 】

図 5



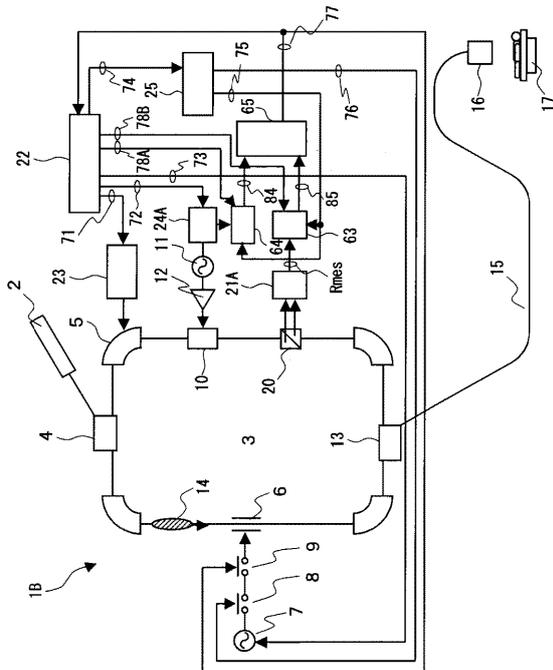
【 図 6 】

図 6



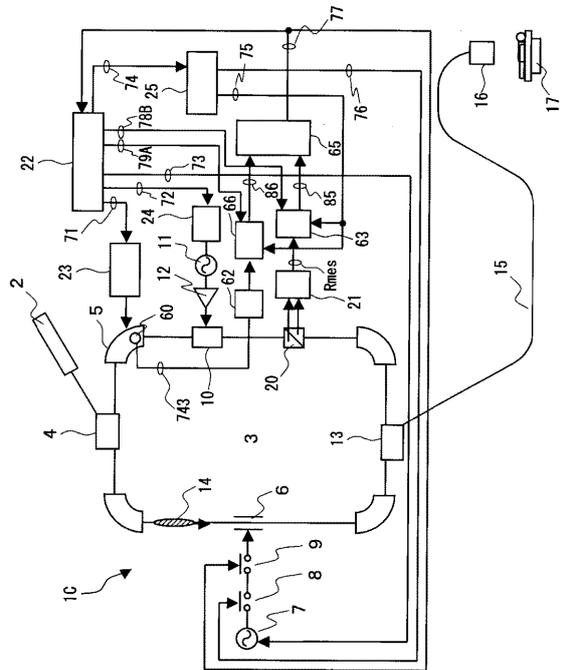
【 図 7 】

図 7

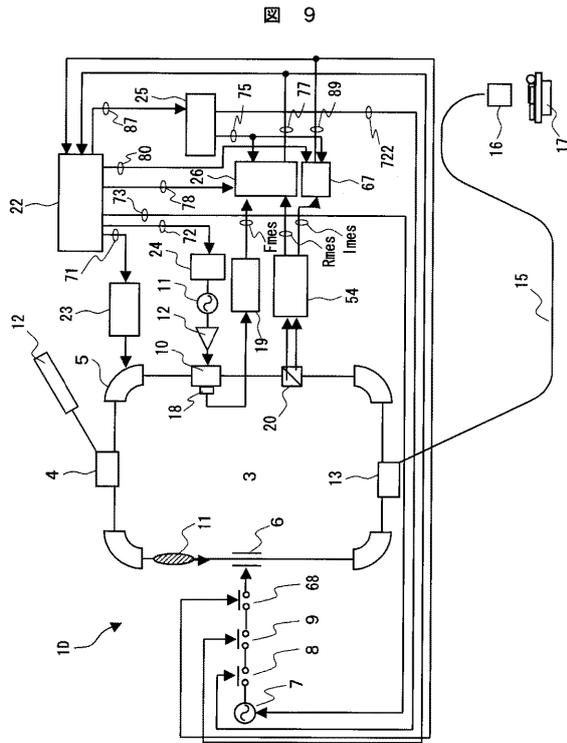


【 図 8 】

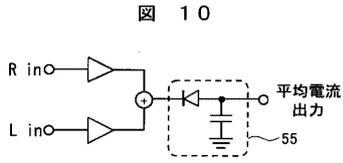
図 8



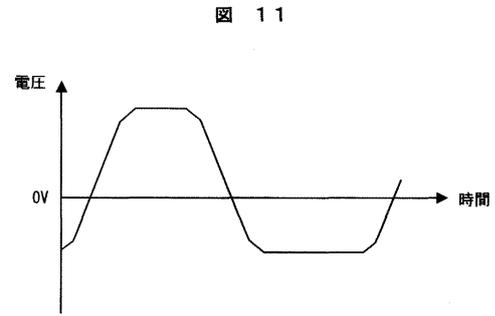
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I
G 2 1 K 5/04 A
G 2 1 K 5/04 C
G 2 1 K 5/04 D

(72) 発明者 梅沢 真澄
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号
機開発研究所内 株式会社 日立製作所 電力・電

(72) 発明者 松田 浩二
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号
機開発研究所内 株式会社 日立製作所 電力・電

審査官 村田 尚英

(56) 参考文献 特開2002-151300(JP,A)
特開平09-092500(JP,A)
特開2001-043999(JP,A)
特開平10-294200(JP,A)
特開平06-076999(JP,A)
特開2002-217000(JP,A)
特開2000-150200(JP,A)
特開平11-176598(JP,A)
特開平10-125498(JP,A)
特開平5-198397(JP,A)

(58) 調査した分野(Int.Cl., DB名)
H 0 5 H 1 3 / 0 4
G 2 1 K 5 / 0 0