

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-159077

(P2017-159077A)

(43) 公開日 平成29年9月14日(2017.9.14)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)			
A61N	5/10	(2006.01)	A61N	5/10	H	2G085
H05H	13/04	(2006.01)	H05H	13/04	G	4C082
G21K	5/04	(2006.01)	G21K	5/04	A	
			G21K	5/04	D	

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2017-86783 (P2017-86783)
 (22) 出願日 平成29年4月26日 (2017. 4. 26)
 (62) 分割の表示 特願2013-226890 (P2013-226890)
 の分割
 原出願日 平成25年10月31日 (2013.10.31)

(71) 出願人 000003078
 株式会社東芝
 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 (74) 代理人 110001092
 特許業務法人サクラ国際特許事務所
 (72) 発明者 長内 昭宏
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
 東芝内
 (72) 発明者 坂本 克也
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
 東芝内
 Fターム(参考) 2G085 AA13 BA13 BA14 CA06 CA14
 CA24
 4C082 AA01 AC04 AE01 AG12

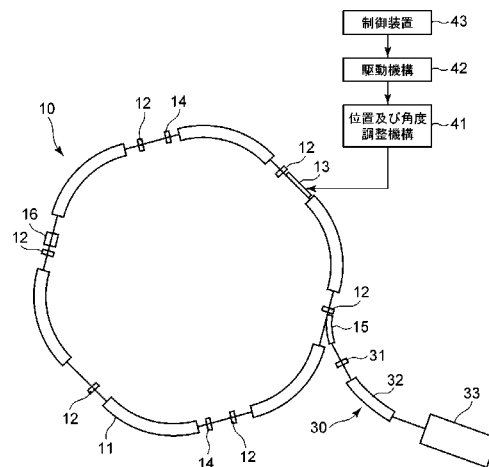
(54) 【発明の名称】 重粒子線治療装置及びシンクロトロン加速器

(57) 【要約】

【課題】照射に適した円形のビームを出射することのできるシンクロトロン加速器を提供する。

【解決手段】実施形態によれば、シンクロトロン加速器10は、入射したビームを周回させて周回軌道を形成する周回軌道形成用偏向電磁石11と、ビームを出射する際にビームの安定領域から外れた共鳴領域のビームを徐々に取り出す出射用偏向器13と、ビームの出射軌道を調整する出射軌道調整用偏向電磁石14と、出射用偏向器13から取り出されたビームを外部に取り出す出射用偏向電磁石15と、出射用偏向器13の位置及び角度を調整する位置及び角度調整機構41と、位置及び角度調整機構41を制御する制御装置43と、を備える。

【選択図】 図9



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

入射したビームを周回させて周回軌道を形成する周回軌道形成用偏向電磁石と、
前記ビームを出射する際に前記ビームの安定領域から外れた共鳴領域の前記ビームを徐々に取り出す出射用偏向器と、
前記ビームの出射軌道を調整する出射軌道調整用偏向電磁石と、
前記出射用偏向器から取り出された前記ビームを外部に取り出す出射用偏向電磁石と、
前記出射用偏向器の位置及び角度を調整する位置及び角度調整機構と、
前記位置及び角度調整機構を制御する制御装置と、を有するシンクロトロン加速器と、
前記シンクロトロン加速器の外側に配置され、前記出射用偏向器により取り出された出射ビームを照射対象に照射する照射装置と、
を備えることを特徴とする重粒子線治療装置。

10

【請求項 2】

前記シンクロトロン加速器からの前記出射ビームの水平方向の位相空間上での粒子分布面積と垂直方向の位相空間上での粒子分布面積の比率が一定となるように前記ビームを取り出すことを特徴とする請求項 1 に記載の重粒子線治療装置。

【請求項 3】

前記シンクロトロン加速器からの前記出射ビームの水平方向の位相空間上での粒子分布面積と垂直方向の位相空間上での粒子分布面積の大きさが一定となるように前記ビームを取り出すことを特徴とする請求項 1 に記載の重粒子線治療装置。

20

【請求項 4】

前記照射装置から前記照射対象に照射する前記出射ビームが円形であることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の重粒子線治療装置。

【請求項 5】

入射したビームを周回させて周回軌道を形成する周回軌道形成用偏向電磁石と、
前記ビームを出射する際に前記ビームの安定領域から外れた共鳴領域の前記ビームを徐々に取り出す出射用偏向器と、
前記ビームの出射軌道を調整する出射軌道調整用偏向電磁石と、
前記出射用偏向器から取り出された前記ビームを外部に取り出す出射用偏向電磁石と、
前記出射用偏向器の位置及び角度を調整する位置及び角度調整機構と、
前記位置及び角度調整機構を制御する制御装置と、
を備えることを特徴とするシンクロトロン加速器。

30

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明の実施形態は、重粒子線治療装置及びこれに用いられるシンクロトロン加速器に関する。

【背景技術】**【0002】**

一般に、重粒子線治療装置は、荷電粒子を加速して得られる高エネルギービームを人体に照射して治療を行う装置である。この重粒子線治療装置は、人体への照射部位と深さに応じて照射ビームの体内飛程を調整することが要求される。

40

【0003】

このような重粒子線治療装置では、主にシンクロトロン加速器が使用されている。このシンクロトロン加速器は、出射するビームエネルギーを変えることで、体内飛程を調整する可変エネルギー照射が考えられている。

【0004】

また、シンクロトロン加速器では、安定領域から共鳴領域に外れた荷電粒子ビームの粒子を徐々に出射軌道へ導き、切り出して出射する遅い取り出し方法が利用されることが多い。これは、加速及び蓄積された荷電粒子ビームを必要なタイミングで必要な強度だけ取

50

り出すためである。

【0005】

この遅い取り出し方法では、出射エネルギーによって周回ビームの特性を表わすエミッタンスが変わるため、出射ビームの角度がエネルギーによって変わらないような出射方法が考えられている（例えば、特許文献1参照）。ここで、ビームのエミッタンスとは、ビームが位相空間（ビームの軌道の位置と角度を座標とした空間）上で占める面積を表している。

【0006】

具体的に、特許文献1に記載された技術は、共鳴の安定限界内における荷電粒子ビームのベータatron振動振幅を増加させる。これにより、共鳴の安定限界内の荷電粒子ビームが共鳴の安定限界外に移動される。この現象をベータatron振動の共鳴という。また、ベータatron振動とは、荷電粒子ビームが左右又は上下に振動しながら周回し、この振動をいう。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特許第2596292号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

20

上記重粒子線治療装置は、シンクロtron加速器からのビームの出射角度を出射エネルギーによらず、一定にすることは可能である。また、出射されたビームを照射位置まで輸送する場合には、通常電場あるいは磁場によってビーム軌道と形状を調整するが、電場の場合はビームのエネルギーに、磁場の場合はビームの運動量に比例してその強度を変えることで、各エネルギーにおけるビーム光学系は同じくなる。つまり、出射されるビーム特性が同じであれば、同一の光学系によって照射位置におけるビーム特性もエネルギーによらず同じくすることができる。

【0009】

しかしながら、遅い取り出し方法で出射されるビームの縦横のサイズは、ビームの切り出し方向においてはその切り出し幅によって決まるのに対し、もう一方向ではビームのエネルギーに応じて決まるため、ビーム輸送系を同一光学系で構成しても、出射エネルギーによってビームの縦横比が変化してしまい、人体への照射に適した形状のビームを出射することができないという問題があった。

30

【0010】

本発明の実施形態の目的は、可変エネルギーでの出射においても照射位置で照射に適した円形のビームを容易に得ることができる重粒子線治療装置及びシンクロtron加速器を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

40

上記目的を達成するために、本実施形態に係る重粒子線治療装置は、入射したビームを周回させて周回軌道を形成する周回軌道形成用偏向電磁石と、前記ビームを出射する際に前記ビームの安定領域から外れた共鳴領域の前記ビームを徐々に取り出す出射用偏向器と、前記ビームの出射軌道を調整する出射軌道調整用偏向電磁石と、前記出射用偏向器から取り出された前記ビームを外部に取り出す出射用偏向電磁石と、前記出射用偏向器の位置及び角度を調整する位置及び角度調整機構と、前記位置及び角度調整機構を制御する制御装置と、を有するシンクロtron加速器と、前記シンクロtron加速器の外側に配置され、前記出射用偏向器により取り出された出射ビームを照射対象に照射する照射装置と、を備えることを特徴とする。

【0012】

また、本実施形態に係るシンクロtron加速器は、入射したビームを周回させて周回軌

50

道を形成する周回軌道形成用偏向電磁石と、前記ビームを出射する際に前記ビームの安定領域から外れた共鳴領域の前記ビームを徐々に取り出す出射用偏向器と、前記ビームの出射軌道を調整する出射軌道調整用偏向電磁石と、前記出射用偏向器から取り出された前記ビームを外部に取り出す出射用偏向電磁石と、前記出射用偏向器の位置及び角度を調整する位置及び角度調整機構と、前記位置及び角度調整機構を制御する制御装置と、を備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0013】

本実施形態によれば、可変エネルギーでの出射においても照射位置で照射に適した円形のビームを容易に得ることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】重粒子線治療装置の第1実施形態を示す概略平面図である。

【図2】2台の出射軌道調整用偏向電磁石により出射バンブ軌道を形成した例を示す説明図である。

【図3】出射バンブ軌道が一定でビームの取り出し状態を示す説明図である。

【図4】ビーム出射角を合わせるようにバンブ軌道を調整したビームの取り出し状態を示す説明図である。

【図5】3台の出射軌道調整用偏向電磁石により出射バンブ軌道を形成した例を示す説明図である。

20

【図6】出射用偏向器における水平方向へのビーム切り出し例を示す説明図である。

【図7】出射バンブ軌道からの距離に対するステップ幅の相違を示すグラフである。

【図8】4台の出射軌道調整用偏向電磁石により出射バンブ軌道を形成した例を示す説明図である。

【図9】重粒子線治療装置の第2実施形態を示す概略平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下に、重粒子線治療装置の実施形態について、図面を参照して説明する。

【0016】

(第1実施形態)

30

図1は重粒子線治療装置の第1実施形態を示す概略平面図である。

【0017】

図1に示すように、本実施形態の重粒子線治療装置は、水平面内に設置されたシンクロトロン加速器10と、図示しないビーム入射系と、ビーム輸送系30とを有する。

【0018】

シンクロトロン加速器10は、周回軌道形成用偏向電磁石(以下、単に形成用偏向電磁石ともいう。)11と、周回ビーム収束用四極電磁石12と、出射用偏向器13と、4台の出射軌道調整用偏向電磁石(以下、単に調整用偏向電磁石ともいう。)14と、出射用偏向電磁石15と、高周波加速装置16と、制御装置17とを備える。ここで、調整用偏向電磁石14とは、バンブ電磁石のことである。

40

【0019】

形成用偏向電磁石11は、シンクロトロン加速器10内に入射した荷電粒子ビームを偏向して周回軌道を形成する。周回ビーム収束用四極電磁石12は、荷電粒子ビームが安定して周回するように収束させる。出射用偏向器13は、荷電粒子ビームの出射に遅れ取り出し方法を用いて水平方向に取り出すときの入口となる。すなわち、出射用偏向器13は、荷電粒子ビームを出射する際に荷電粒子ビームの安定領域から外れた共鳴領域の荷電粒子ビームを徐々に取り出すための入口となる。

【0020】

4台の調整用偏向電磁石14は、荷電粒子ビームの周回方向に対して出射用偏向器13の前後に配置されている。4台の調整用偏向電磁石14は、シンクロトロン加速器10内

50

から荷電粒子ビームを出射する際に、荷電粒子ビームの周回軌道を出射用偏向器 13 側に近付けて出射中の荷電粒子ビームがシンクロトロン加速器 10 内の他の構成機器と衝突するのを防止する。この出射用偏向器 13 側に近付けたビーム軌道を以下、バンブ軌道という。

【0021】

出射用偏向電磁石 15 は、出射用偏向器 13 から取り出された荷電粒子ビームをシンクロトロン加速器 10 の外部に出射するために偏向する。高周波加速装置 16 は、荷電粒子ビームを加速又は減速するための高周波電場を発生させる装置である。

【0022】

制御装置 17 は、コンピュータ、記憶装置、各種電源回路等の回路で構成される。制御装置 17 は、4 台の調整用偏向電磁石 14 の励磁量をそれぞれ制御し、ビーム切り出し方向における荷電粒子ビームの出射角度（傾き）をエネルギーによらずに一定とし、かつ出射ビームの位相空間（荷電粒子ビームの軌道の位置と角度を座標とした空間）上での粒子分布面積をエネルギーに応じた必要な大きさとして出射用偏向電磁石 15 に出射する。

10

【0023】

ビーム輸送系 30 は、シンクロトロン加速器 10 の外側に配置されている。ビーム輸送系 30 は、ビーム輸送系四極電磁石 31 と、ビーム輸送系偏向電磁石 32 と、照射装置 33 とを備えている。

【0024】

次に、本実施形態の作用を図 2 ~ 図 8 に基づいて説明する。

20

【0025】

図 2 は 2 台の出射軌道調整用偏向電磁石により出射バンブ軌道を形成した例を示す説明図である。図 3 は出射バンブ軌道が一定でビームの取り出し状態を示す説明図である。図 4 はビーム出射角を合わせるようにバンブ軌道を調整したビームの取り出し状態を示す説明図である。

【0026】

図 5 は 3 台の出射軌道調整用偏向電磁石により出射バンブ軌道を形成した例を示す説明図である。図 6 は出射用偏向器における水平方向へのビーム切り出し例を示す説明図である。図 7 は出射バンブ軌道からの距離に対するステップ幅の相違を示すグラフである。図 8 は 4 台の出射軌道調整用偏向電磁石により出射バンブ軌道を形成した例を示す説明図である。

30

【0027】

まず、本実施形態の動作を概略的に説明する。図示しないビーム入射系からシンクロトロン加速器 10 に荷電粒子ビームが入射すると、この荷電粒子ビームは、高周波加速装置 16 によって所定のエネルギーまで加速される。その後、照射に要求されるエネルギーまで減速され、出射用偏向電磁石 15 によってシンクロトロン加速器 10 の外側へ出射される。

【0028】

この場合、加速後の所定エネルギーを最初の出射エネルギーとしても構わない。他のエネルギーでの出射が必要な場合は、さらに必要エネルギーまで減速して出射を行う。

40

【0029】

そして、シンクロトロン加速器 10 から取り出された荷電粒子ビームは、ビーム輸送系 30 のビーム輸送系四極電磁石 31 及びビーム輸送系偏向電磁石 32 を経て照射装置 33 に輸送される。この照射装置 33 により照射対象である、例えば患者の患部に照射されてがん治療に用いられる。

【0030】

次に、本実施形態の作用を詳細に説明する。

【0031】

荷電粒子ビームの出射に遅い取り出し方法を用いる場合は、通常、出射用偏向器 13 の位置で調整用偏向電磁石 14 により出射用偏向器 13 側にビーム軌道を近付ける。これに

50

より、シンクロトロン加速器 10 の構成機器との衝突による不要なビームロスを抑えている。

【0032】

以下、シンクロトロン加速器 10 に最低 2 台の調整用偏向電磁石 14 を設置した場合、3 台の調整用偏向電磁石 14 を設置した場合、本実施形態による 4 台の調整用偏向電磁石 14 を設置した場合について順に説明する。

【0033】

図 2 に示すように、最低 2 台の調整用偏向電磁石 14 によりビーム周回軌道 20 に対して出射パンブ軌道 21 a を形成することができる。この場合、出射パンブ軌道 21 a と出射用偏向器 13 との間の距離 22 と、出射パンブ軌道 21 a と出射用偏向器 13 との間の角度 23 は、設計上ほぼ固定される。

10

【0034】

2 つ以上のエネルギーにおいて出射を行う場合、ビームエネルギーが低いほど周回ビームのエミッタンス（位相空間における面積）は大きくなる。そのため、出射パンブ軌道を一定のままで荷電粒子ビームを出射すると、その出射角がビームエミッタンス、すなわちビームエネルギーによって変わることになる。

【0035】

これは、例えば三次共鳴を利用して水平方向に出射する場合、出射用偏向器 13 の位置でのビーム取り出しの状態を図 3 に示す位相空間上に見ると分かる。図 3 は出射パンブ軌道が一定でビームの取り出し状態を示している。上記位相空間とは、横軸が水平方向における荷電粒子ビームの進行方向（S 軸方向）に垂直な方向（X 軸方向）であり、縦軸が X 軸方向の変位 X を荷電粒子ビームの進行方向 S の変位 S で微分した微分値（ dX/dS ）を示す X' 軸である。

20

【0036】

上記水平方向における荷電粒子ビームの進行方向（S 軸方向）とは、図 1 に示すようにシンクロトロン加速器 10 内を周回する荷電粒子ビームの接線方向であり、X 軸方向は、上記のように S 軸方向に垂直な方向であるとともに、水平面（シンクロトロン加速器 10 が拡がる方向）における方向である。

【0037】

図 3 において、周回ビーム収束用四極電磁石 12 によりチューン（荷電粒子ビームがリングを 1 周する際のベータatron 振動数）が三次共鳴近くに設定されていると、荷電粒子ビームの安定領域と共鳴領域の境界を示す三角形のセパトリックスが形成される。ビームが徐々に取り出されるには、エネルギーに応じたビームのエミッタンスとセパトリックスがほぼ同じ大きさである必要があるため、エネルギーの高い場合には小さく、エネルギーが低い場合には大きくなるように、例えば 4 つの異なるエネルギーに対してセパトリックス 23 A ~ 23 D が形成されることになる。共鳴領域に入った荷電粒子ビームは、ベータatron 振動の振幅を増大し、シンクロトロン加速器 10 から取り出される。

30

【0038】

したがって、図 3 において、各出射パンブ軌道と出射用偏向器 13 に導かれる荷電粒子ビームとの間の角度 23 a ~ 23 d は、セパトリックス 23 A からセパトリックス 23 D に示すようにエネルギーごとに異なり、つまり出射角度が変わることになる。

40

【0039】

そこで、調整用偏向電磁石 14 を 3 台用いて出射パンブ軌道 21 a を調整することにより、図 4 に示すように出射角度を合わせて荷電粒子ビームを出射することが可能である。図 5 は出射軌道調整用偏向電磁石 14 を 3 台用いて出射パンブ軌道 21 b を調整した例を示している。

【0040】

このようにして荷電粒子ビームを取り出した場合、垂直方向についてはビームエネルギーに対応したエミッタンスになり、例えば炭素六価イオンの場合、ビームエネルギー 140 MeV/u の垂直エミッタンスは、ビームエネルギー 430 MeV/u の垂直エミ

50

ットランスのおよそ2倍となる。ここで、ビームのエミッタンスは、上述した通りビームが位相空間（荷電粒子ビームの軌道の位置と角度を座標とした空間）上で占める面積である。

【0041】

一方、水平方向のエミッタンスについては、図6に示すように個々の荷電粒子は出射用偏向器13に向かってステップ幅（三次共鳴での取り出しでは3ターン後における荷電粒子移動幅）24aを徐々に大きくしながら近付き、最終的に取り出される。これは、図7に示すように出射バンブ軌道から出射用偏向器13までの距離が長くなればなるほどステップ幅が大きくなるのが分かる。そのため、水平エミッタンスは、最大ステップ幅24bによって決まる。図6においては、最大ステップ幅が得られる荷電粒子の軌跡のみが示されているが、実際にはセパトリックスからこぼれ出た荷電粒子は初期条件により異なる軌跡を辿るため、出射用偏向器13で切り出される荷電粒子ビームは符号25に示すように最大ステップ幅24bを超えない範囲で分布する。図6において、出射用偏向器13の電極ギャップは、出射用偏向器隔壁13aと出射用偏向器外壁13bとで形成される。

10

【0042】

したがって、最大ステップ幅24bの大きさは、図7に示すように出射バンブ軌道からの距離と相関関係を有するため、ビームエネルギーによるエミッタンス変化量は、水平方向と垂直方向とで異なることになる。すなわち、複数のエネルギーにおいてビーム輸送系30の光学系を同一にした場合、輸送後のビームサイズの縦横比がビームエネルギーによって変化する。そのため、高精度の照射に望ましい円形ビームに形成するには、各ビーム輸送系30の光学系をエネルギーごとに調整することが必要になり、手間がかかっていた。

20

【0043】

そこで、本実施形態では、出射ビームの出射角度を一定に保ちながら水平エミッタンスをビームエネルギーに応じて必要な値に調整することを考える。

【0044】

図8に示すように、本実施形態では、調整用偏向電磁石14を4台使い、これらの調整用偏向電磁石14の励磁量を制御装置17により制御している。これにより、出射用偏向器13の位置における出射バンブ軌道21cの位置と角度をそれぞれ任意に調整することが可能となる。そのため、ビーム出射角とステップ幅の両方を同時に必要な値に設定することができる。

30

【0045】

具体的には、ステップ幅は、上記のように出射バンブ軌道から出射用偏向器13までの距離が長くなればなるほど大きくなるので、出射バンブ軌道の設定位置に基づいてステップ幅を変えることができる。

【0046】

そのため、本実施形態では、4台の調整用偏向電磁石14の励磁量を制御装置17により制御することで、磁場強度を制御し、出射バンブ軌道の設定位置を調整することにより、最大ステップ幅の大きさを変えることができる。この最大ステップ幅が水平方向の荷電粒子ビームの切り出しサイズとなる。

40

【0047】

したがって、本実施形態では、ビームエネルギーによって変化する垂直エミッタンスに対応して水平方向の荷電粒子ビームの切り出しサイズを変えて水平エミッタンスを変えることにより、異なるエネルギーにおいても水平エミッタンスと垂直エミッタンスとの比率を常に一定にすることができる。

【0048】

すなわち、本実施形態では、シンクロトロン加速器10からの出射ビームの水平方向の位相空間上での粒子分布面積と垂直方向の位相空間上での粒子分布面積の比率が一定となるようにビームを取り出すことができる。

【0049】

50

また、本実施形態では、シンクロトロン加速器 10 からの出射ビームの水平方向の位相空間上での粒子分布面積と垂直方向の位相空間上での粒子分布面積の大きさが一定となるようにビームを取り出すことができる。

【0050】

したがって、本実施形態によれば、異なるエネルギーにおいても水平エミッタンスと垂直エミッタンスとの比率が常に一定となるようにすれば、ビーム輸送系 30 の光学系が同一のままで、ビーム輸送後のビームサイズの縦横比を一定にすることができる。さらに、縦横比が 1 : 1 になるようにビーム輸送系 30 の光学系を設定すれば、出射エネルギーによらずに円形のビームが得られることとなる。

【0051】

(第2実施形態)

図9は重粒子線治療装置の第2実施形態を示す概略平面図である。

【0052】

本実施形態では、前記第1実施形態と同一又は対応する部分に同一の符号を付して説明を省略する。

【0053】

本実施形態は、4台の調整用偏向電磁石 14 の励磁量を制御装置 17 により制御するのに代えて、出射用偏向器 13 の位置及び角度を機械的に調整可能としている。そのため、本実施形態は、調整用偏向電磁石 14 を2台設置すればよい。

【0054】

具体的に図9に示すように、出射用偏向器 13 には、位置及び角度調整機構 41 が取り付けられている。この位置及び角度調整機構 41 は、出射用偏向器 13 の位置において出射パンプ軌道の位置及び角度を機械的に調整する。位置及び角度調整機構 41 は、電動、空気圧又は油圧等の駆動機構 42 により駆動される。この駆動機構 42 は、制御装置 43 により駆動が制御される。制御装置 43 は、コンピュータ、記憶装置、各種電源回路等の回路で構成される。

【0055】

したがって、駆動機構 42 の電源をオンにし、制御装置 43 により駆動機構 42 の駆動を制御することで、位置及び角度調整機構 41 を制御することができる。その結果、出射用偏向器 13 の位置及び角度を調整することが可能となる。

【0056】

このように本実施形態によれば、出射用偏向器 13 の位置及び角度を調整することによって、前記第1実施形態と同様に、出射用偏向器 13 の位置でのパンプ軌道の位置及び角度を調整することができる。

【0057】

特に、一日の中での温度変化、あるいは年周期での建屋の変動等により周回ビーム軌道が一律に変位する場合には、全てのエネルギーでの補正を一度に行える出射用偏向器 13 の位置及び角度の調整が有効な手段となる。その他の構成及び作用は、前記第1実施形態と同様であるので、その説明を省略する。

【0058】

(その他の実施形態)

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更、組み合わせを行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

【0059】

例えば、上記第1実施形態では、調整用偏向電磁石 14 を4台用いた例について説明したが、4台に限定することなく5台以上でもよい。要するに、調整用偏向電磁石 14 は、

10

20

30

40

50

少なくとも4台設ければよい。

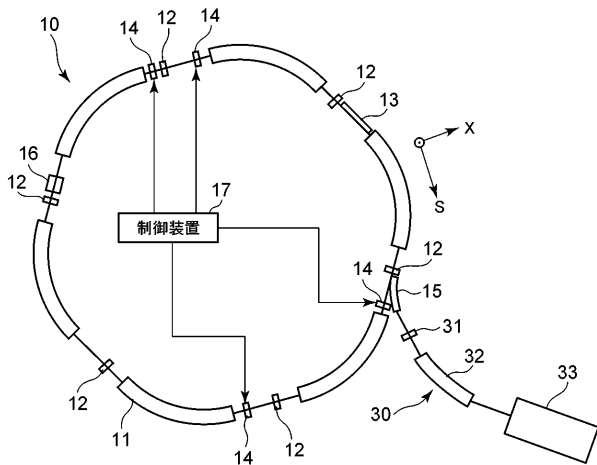
【符号の説明】

【0060】

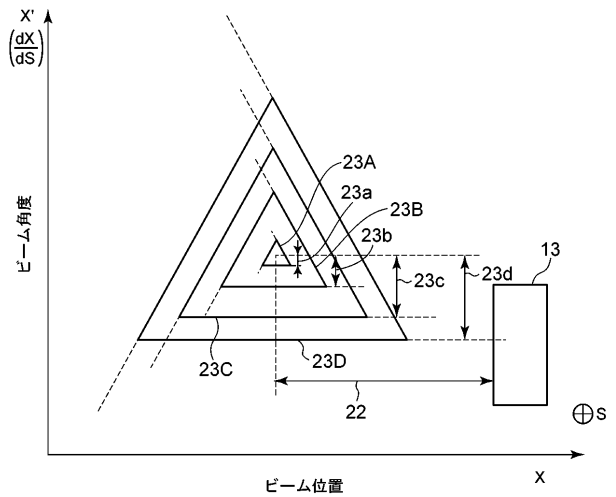
10...シンクロトロン加速器、11...形成用偏向電磁石（周回軌道形成用偏向電磁石）、12...周回ビーム収束用四極電磁石、13...出射用偏向器、13a...出射用偏向器隔壁、13b...出射用偏向器外壁、14...調整用偏向電磁石（出射軌道調整用偏向電磁石）、15...出射用偏向電磁石、16...高周波加速装置、17...制御装置、20...ビーム周回軌道、21a~21c...出射ランプ軌道、22...出射ランプ軌道と出射用偏向器との間の距離、23、23a~23d...出射ランプ軌道と出射用偏向器との間の角度、23A~23D...セパトリックス、24a...ステップ幅、24b...最大ステップ幅、25...荷電粒子ビーム、30...ビーム輸送系、31...ビーム輸送系四極電磁石、32...ビーム輸送系偏向電磁石、33...照射装置、41...位置及び角度調整機構、42...駆動機構、43...制御装置

10

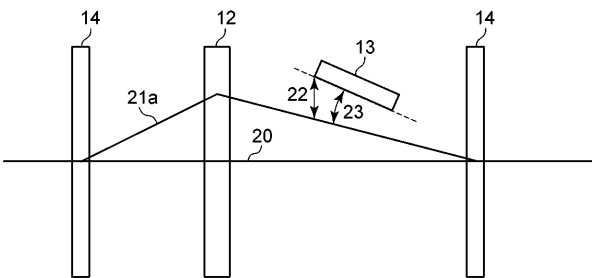
【図1】



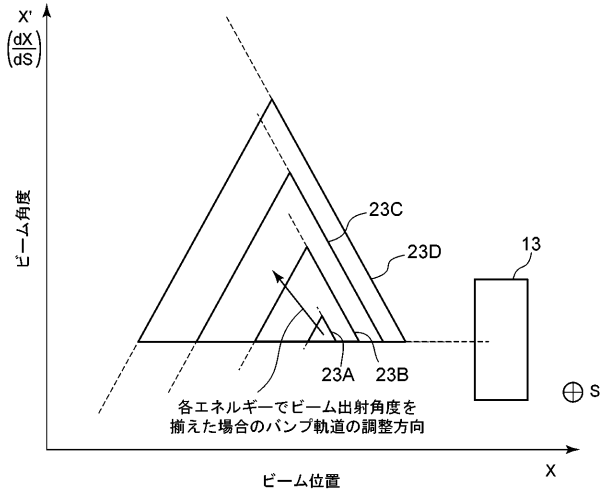
【図3】



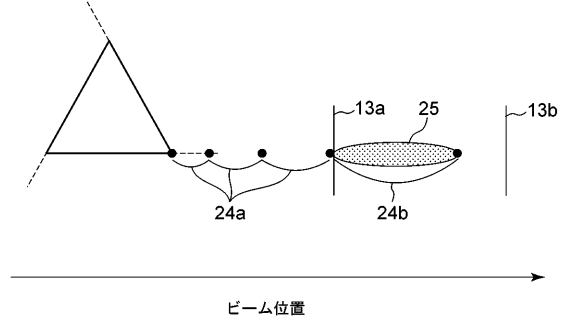
【図2】



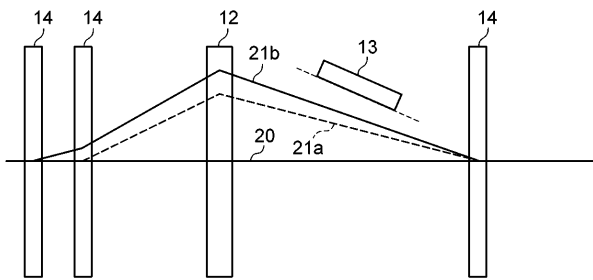
【 図 4 】



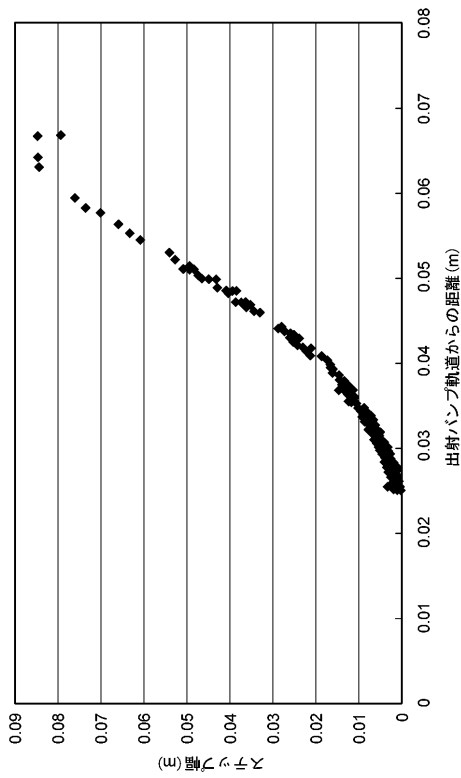
【 図 6 】



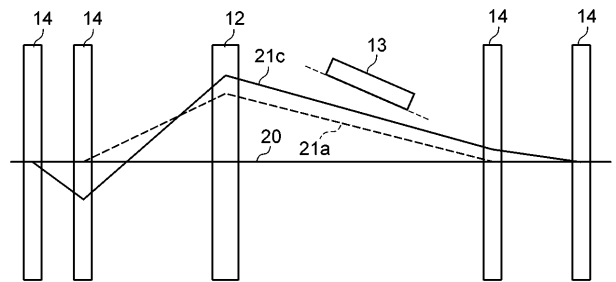
【 図 5 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

