

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年10月3日(03.10.2024)

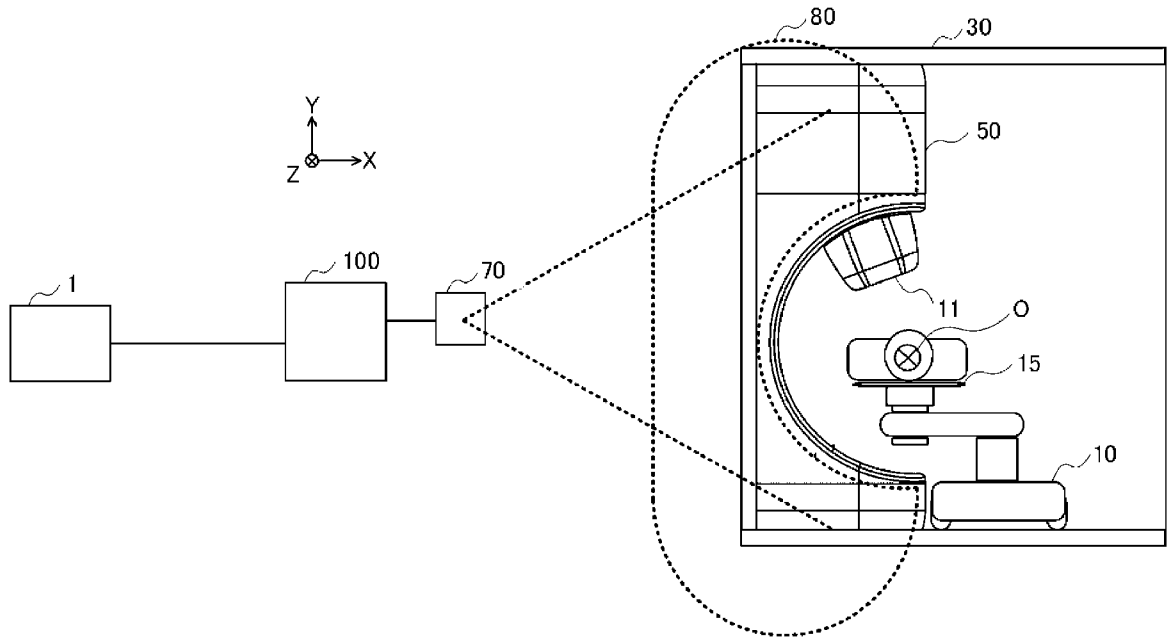


(10) 国際公開番号
WO 2024/204426 A1

- (51) 国際特許分類:
G21K 5/04 (2006.01) *G21K 1/093* (2006.01)
A61N 5/10 (2006.01) *H05H 13/04* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/012415
- (22) 国際出願日: 2024年3月27日(27.03.2024)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2023-058513 2023年3月31日(31.03.2023) JP
- (71) 出願人:株式会社ビードットメディカル(**B DOT MEDICAL INC.**) [JP/JP]; 〒1340003 東京都江戸川区春江町5-10-10 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 皿谷 有一 (**SARATANI Yuichi**); 〒1340003 東京都江戸川区春江町5-10-10 株式会社ビードットメディカル内 Tokyo (JP). 益田 大志 (**MASUDA Taishi**); 〒1340003 東京都江戸川区春江町5-10-10 株式会社ビードットメディカル内 Tokyo (JP). 竹下 英里 (**TAKESHITA Eri**); 〒1340003 東京都江戸川区春江町5-10-10 株式会社ビードットメディカル内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人白坂(**SHIRASAKA PATENT ATTORNEY CORPORATION**); 〒1000004 東京都千代田区大手町一丁目6番1号 大手町ビル4階 Tokyo (JP).

(54) Title: CHARGED PARTICLE BEAM IRRADIATION SYSTEM, OFFSET DEVICE, AND CONTROL METHOD

(54) 発明の名称: 荷電粒子ビーム照射システム、オフセット装置、制御方法



(57) Abstract: Provided is a charged particle beam irradiation system that can suppress the generation of a dispersion function in a charged particle beam at an isocenter (O) without providing a quadrupole electromagnet after electromagnets (70, 80), which are arranged in a charged particle beam irradiation device (50) for the purpose of directing the charged particle beam to the isocenter (O). The charged particle beam irradiation system comprises: an accelerator (1); the electromagnets (70, 80) that can deflect a charged particle beam emitted from the accelerator (1); the charged particle beam irradiation device (50) that irradiates the isocenter (O) with the charged particle beam from a plurality of directions; and



WO 2024/204426 A1

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

an offset unit (100) that implements control so that the dispersion function generated by the electromagnets (70, 80) is suppressed at the isocenter (O).

(57) 要約: 荷電粒子ビーム照射装置 (50) にアイソセンタ (O) に荷電粒子ビームを向かわせる目的で配される電磁石 (70、80) の後に、四極電磁石を備えることなくアイソセンタ (O) において荷電粒子ビームに分散関数の発生を抑制することができる荷電粒子ビーム照射システムを提供する。加速器 (1) と、加速器 (1) から出射された荷電粒子ビームを偏向し得る電磁石 (70、80) と、アイソセンタ (O) に対して複数の方向から荷電粒子ビームを照射する荷電粒子ビーム照射装置 (50) と、電磁石 (70、80) により発生する分散関数がアイソセンタ (O) において抑制されるように制御するオフセット部 (100) を備える。

明 細 書

発明の名称：

荷電粒子ビーム照射システム、オフセット装置、制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、荷電粒子ビームがアイソセンタに到達した際の分散関数を抑制する荷電粒子ビーム照射システムに関する。

背景技術

[0002] 従来、がん治療の一つとして、荷電粒子ビームを用いた粒子線治療が行われている。粒子線治療においては、病巣に対して、線量集中性を高めつつ、周囲の正常組織への影響を極力抑制するために、複数の方向から荷電粒子ビームを照射する手法が一般的である。このような照射装置として、患者の病巣を全方向から照射する回転ガントリーが知られている。

[0003] 加速器により生成された荷電粒子ビームは、荷電粒子ビームの進行方向を変更するための偏向電磁石や、荷電粒子ビームに対して収束や発散と言った作用を与える四極電磁石、荷電粒子ビームの進行方向を微調整するためのステアリング電磁石等を含む輸送路を通して、治療照射部である回転ガントリーに輸送される。回転ガントリーに輸送された荷電粒子ビームは、走査電磁石により走査され、病巣を荷電粒子ビームの進行方向に複数の層に区分して三次元的に治療照射が行われる。

[0004] 粒子線治療では、治療室内のアイソセンタにおいて、荷電粒子ビームの高い照射位置精度と、所望のビーム形状で安定した治療照射することが要求される。ところで、加速器から取り出された荷電粒子ビームは、アイソセンタに到達するまでに、ある分散関数を持つ。分散関数とは、荷電粒子ビームを構成する個々の荷電粒子の運動量のずれに起因する設計軌道からの位置ずれの相関を表す係数のことである。この分散関数は、荷電粒子ビームが偏向電磁石を通過することによって発生し、その結果、荷電粒子ビームの照射位置のアイソセンタからの位置ずれが発生したり、荷電粒子ビームの形状が所望

の形状から崩れたりする。そのため、荷電粒子ビームの分散関数は、アイソセンタにおいて極力0にする必要があり、四極電磁石を用いることで、この分散関数を調整できることが一般に知られている。

[0005] 特許文献1には、荷電粒子ビームの照射装置として、固定された垂直方向の固定ポートを用いる例が開示されており、水平面から傾斜した面において偏向電磁石と四極電磁石とを設けて分散関数を調整する技術が開示されている。

[0006] 一方、回転ガントリーの場合、多方向からの荷電粒子ビームの照射を実現するために偏向電磁石を用いることにより実現している。回転ガントリーにおいて複数の偏向電磁石を設置して荷電粒子ビームの進行方向を調整している都合上、各偏向電磁石において荷電粒子ビームを偏向する方向に分散関数が発生する。よって、回転ガントリーにあっては、回転ガントリー内で荷電粒子ビームの分散関数を調整する。特許文献2には、回転ガントリーに複数の四極電磁石を設けることで、分散関数を調整する技術が開示されている。

[0007] 回転ガントリーを用いずに多方向から荷電粒子ビームを病巣に対して照射する手法としては、特許文献3に記載の技術がある。特許文献3では、荷電粒子ビームの輸送路の末端に偏向電磁石を設けることで多方向からの照射を実現しているが、当該偏向電磁石により垂直方向の分散関数が発生する。しかしながら、特許文献3において、この分散関数をアイソセンタにおいて0にする目的で四極電磁石を配することは照射装置の大型化を招くという問題がある。これは、特許文献2においても同様であり、四極電磁石を配したことで、回転ガントリーの肥大化を招いている。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開第2015-000090号公報

特許文献2：特許第2019-082389号公報

特許文献3：特許第6387476号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] そこで、本発明は上記問題に鑑みて成されたものであり、偏向電磁石により発生する分散関数を、荷電粒子ビーム照射装置の照射部に四極電磁石を配することなく調整できる荷電粒子ビーム照射システムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] 上記問題に対応するために、本発明の一態様に係る荷電粒子ビーム照射システムは、加速器と、加速器から出射された荷電粒子ビームを偏向し得る電磁石と、アイソセンタに対して複数の方向から荷電粒子ビームを照射する荷電粒子ビーム照射装置と、電磁石により発生する分散関数がアイソセンタにおいて抑制されるように制御するオフセット部を備える。

発明の効果

[0011] 本発明に係る荷電粒子ビーム照射システムによれば、照射部に四極電磁石を備えることなく、照射部に設けられる偏向電磁石の影響による分散関数をアイソセンタにおいて抑制することができる。また、照射部に四極電磁石を設けないことで、照射部の肥大化を防止することができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]図1は、実施の形態1に係る荷電粒子ビーム照射システムの構成例を示す模式図である。

[図2]図2は、オフセット部の構成例を示すブロック図である。

[図3]図3は、荷電粒子ビーム照射装置による荷電粒子ビームの照射の仕組みを説明する図である。

[図4]図4は、実施の形態1に係る荷電粒子ビーム照射システムの構成例の天面図である。

[図5]図5(a)は、オフセット部を用いない場合の分散関数の例を模式的に示し、図5(b)は、オフセット部を用いた場合の分散関数の例を模式的に示している図である。

[図6]図6は、回転ガントリーを用いた場合の実施の形態2に係る荷電粒子ビーム照射システムの構成例である。

[図7]図7(a)、(b)は、オフセット部の変形例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、本実施形態に係る荷電粒子ビーム照射システムについて、図面を参照しながら、詳細に説明する。

[0014] <実施の形態1>

図1は、実施の形態1に係る荷電粒子ビーム照射システムの構成例を模式的に示すブロック図である。図1に示すように、実施の形態1に係る荷電粒子ビームを照射する照射装置が患者の周囲を回転はしないものの、病巣に対して多方向（およそ半円の範囲内）から照射可能である例を説明する。

[0015] 図1に示すように、荷電粒子ビーム照射システムは、加速器1と、オフセット部100と、振分電磁石70と、偏向電磁石80を含む荷電粒子ビーム照射装置50と、を備える。図1に示すように、荷電粒子ビーム照射システムにおいては、図示するように、加速器1、オフセット部100、振分電磁石70、荷電粒子ビーム照射装置50が、この順に接続され、治療室30内において、自動車両10の治療台15に載せられた患者の病巣（アイソセンタ）まで、加速器1から荷電粒子ビームが輸送されて照射される。本実施の形態1においては、荷電粒子ビームが加速器1からアイソセンタ0まで輸送される経路において、加速器1側を上流、アイソセンタ側を下流と呼称することがある。また、荷電粒子ビーム照射装置50において荷電粒子ビームは、照射ノズル11からアイソセンタに向けて照射されることとしてよい。

[0016] 加速器1は、荷電粒子を加速させて荷電粒子ビームを生成する機能を有する装置である。加速器1は、例えば、シンクロトロン、サイクロトロン、線形加速器などにより実現されてよいが、これらに限定するものではない。加速器1は、生成した荷電粒子ビームをオフセット部100に伝達する。

[0017] 加速器1とオフセット部100の間には、荷電粒子ビームを輸送する伝送路としての輸送路が設けられてもよい。この輸送路は、加速器1から取り出

された荷電粒子ビームを、必要に応じて偏向させて、所望の位置、即ち、オフセット部100の入射口まで伝達する。このような、輸送路には、必要に応じて、偏向電磁石や四極電磁石、ステアリング電磁石などが含まれてもよい。

[0018] オフセット部100は、照射装置において発生する分散関数を抑制するために設けられた装置であり、照射装置において発生する分散関数がアイソセンタにおいてなるべく0になるように、予め荷電粒子ビームに分散関数を故意に発生させるための装置である。前述したように、分散関数とは、荷電粒子ビームを構成する個々の荷電粒子の運動量のずれに起因する設計軌道からの位置ずれの相関を表す係数のことであり、偏向電磁石により荷電粒子ビームを偏向させると、所望の位置から位置ずれを起こし、その位置ずれの値を示すものである。この位置ずれは、当然ながら少なければ少ないほどよく、0であることが好ましい。したがって、分散関数を抑制するとは、分散関数の持つ値をなるべく0に近づける（即ち、アイソセンタを通る際の荷電粒子ビームのアイソセンタからの位置ずれを小さくする）ことを意味する。オフセット部100には、加速器1からの荷電粒子ビームが、適宜必要に応じて輸送路を経由して、入射する。

[0019] 図2は、オフセット部100の詳細構成例を示すブロック図である。図2に示すように、オフセット部100は、第1偏向電磁石101と、四極電磁石102と、第2偏向電磁石103と、オフセット制御部110と、を備える。オフセット部100においては、図2に示すように、加速器1からの荷電粒子ビームはオフセット部100の第1偏向電磁石101に入射する。第1偏向電磁石101により偏向された荷電粒子ビームは、四極電磁石102により、調整される。そして、四極電磁石102により調整された荷電粒子ビームは、第2偏向電磁石103により再度偏向される。オフセット部100において発生させる分散関数は、図2に示すように、オフセット部100を制御可能なオフセット制御部110により、第1偏向電磁石101と、四極電磁石102と、第2偏向電磁石103は、制御される。オフセット制御

部110は、四極電磁石102の励磁量を、振分電磁石70及び偏向電磁石80における偏向角及び照射角に基づいて計算し、四極電磁石102に励磁量を指示するコンピュータシステムであってよく、図示しないメモリ等に記憶されたプログラム等により当該処理を実行するものであってよいし、当該制御を実行する専用回路によって実現されるものであってもよい。また、更には、オフセット制御部110は、第1偏向電磁石101、第2偏向電磁石103も制御することとしてもよい。

[0020] 一般的に、荷電粒子ビームを輸送するにあたって、加速器から出力された荷電粒子ビームを第1の偏向電磁石と四極電磁石と第2の偏向電磁石とがこの順に配列された構成を挿入し、目的位置まで輸送することがある。この場合、上流側の偏向電磁石、即ち、第1の偏向電磁石において荷電粒子ビームが偏向されると分散関数及び勾配が発生する。ここで、四極電磁石の励磁量によっては、下流側の偏向電磁石、即ち、第2の偏向電磁石の通過後に0、即ち、ダブルアクロマートな条件にすることで、分散関数が発生させていない状態の荷電粒子ビームにして、輸送することができる。

[0021] しかしながら、本実施形態に係るオフセット部100にあつては、荷電粒子ビームが輸送される経路においてその下流側（後段）に振分電磁石70及び偏向電磁石80を備える。そのため、振分電磁石70及び偏向電磁石80において荷電粒子ビームを偏向させる場合に発生する分散関数を考慮する必要がある。即ち、オフセット部100のオフセット部制御部は、オフセット部100と振分電磁石70、偏向電磁石80全てを含んで、アクロマートな条件にする必要がある。

[0022] 具体的には、オフセット部100を通過後の荷電粒子ビームの分散関数を敢えて0にしないようにし、振分電磁石70の偏向起点Qにおいて分散関数が既に所定の値を持つように四極電磁石102の励磁量を調整する。即ち、オフセット制御部110は、振分電磁石70及び偏向電磁石80において、どの程度荷電粒子ビームを偏向させるかについての情報を予め取得し、取得した情報に基づいて、逆算することで、オフセット部100通過後の荷電粒

子ビームに発生させるべき分散関数の値となるように四極電磁石 102 の励磁量を制御する。

[0023] 当該制御にあつては、オフセット制御部 110 は、予め、振分電磁石 70 及び偏向電磁石 80 による偏向角及び照射角の複数の組み合わせそれぞれに対して、発生させるべき分散関数の値に応じた四極電磁石 102 の励磁量をシミュレーションにより計算し、制御テーブルとして各組み合わせを記憶して、制御することで、適宜、四極電磁石 102 の励磁量を制御することとしてもよい。また、あるいは、オフセット制御部 110 は、振分電磁石 70 における偏向角及び偏向電磁石 80 における照射角を入力して、四極電磁石 102 の励磁量を求めるための関数を保持し、当該関数から求まる励磁量を四極電磁石 102 に印加するよう制御することとしてもよい。また、あるいは、振分電磁石 70 及び偏向電磁石 80 における偏向角及び照射角の組み合わせと、それに対して望ましい四極電磁石 102 の励磁量との関係を学習した学習済みモデルを用い、当該学習済みモデルに対して、偏向角及び照射角を入力して、励磁量を得るように構成してもよい。なお、偏向起点 Q、振分電磁石 70 における偏向角及び偏向電磁石 80 における照射角の詳細については、後述する。

[0024] オフセット部 100 により、分散関数を発生させた荷電粒子ビームは、振分電磁石 70、偏向電磁石 80 を経由して、アイソセンタに到達する。なお、荷電粒子ビームを直進させる場合には、オフセット部 100 においては、第 2 偏向電磁石 103 から出力された時点で分散関数が発生しない（0 になる）ように制御し、振分電磁石 70 に入射する時点で分散関数のない荷電粒子ビームが入射する。

[0025] ここで、図 3 を用いて、振分電磁石 70 及び偏向電磁石 80 による荷電粒子ビームの偏向の詳細について説明する。

[0026] 図 3 は、振分電磁石 70 及び偏向電磁石 80 についての詳細を説明するための図である。図 3 (a) は、荷電粒子ビーム照射システムの荷電粒子ビーム照射装置 50 を側面から見た荷電粒子ビームの経路を模式的に示した模式

図である。図3(a)に示すように、荷電粒子ビーム照射装置50は、振分電磁石70と、偏向電磁石80を備える。荷電粒子ビーム照射装置50の一部は、図1に示されるように、治療室30内に露出するとともに、他の一部は、治療室30の壁面内や地下に埋設される。同図1に示すように、荷電粒子ビーム照射装置50の偏向電磁石は、一部が壁面内、地下に埋設されており、振分電磁石70も治療室30外に設けられている。

[0027] 図3(a)には偏向角 ϕ 及び収束角 θ ごとに異なる複数のビーム経路の例を示している。ここで、荷電粒子ビームの進行方向をX軸、偏向電磁石80が生成する磁場の方向をZ軸、X軸及びZ軸に直交する方向をY軸とする。偏向電磁石80は、XY面において、X軸に対する偏向角 ϕ の広い範囲から入射する荷電粒子ビームを、アイソセンタOに収束させるよう構成されている。つまり、荷電粒子ビームを振分電磁石及び偏向電磁石80により偏向させない場合には、荷電粒子ビームは振分電磁石及び偏向電磁石80を直進して通過し、アイソセンタに至る。なお、図3(a)においては、照射ノズル11は省略し、説明を簡単にするために、アイソセンタOをXYZ空間の原点とし、上流側(加速器側、図3(a)の紙面左側)をX軸の正の方向としている。

[0028] 図3(a)に示すように、振分電磁石70は、入射する荷電粒子ビームを必要に応じて偏向させる。振分電磁石70は、入射する荷電粒子ビームを偏向させずに直進させる場合もある。

[0029] 偏向角 ϕ の範囲は、 -90 度超 $\sim +90$ 度未満の範囲にあり、プラス(+Y軸方向)の偏向角範囲とマイナス(-Y軸方向)の偏向角範囲は異なってもよい(非対称)。例えば、プラス側の最大偏向角($\phi = \phi_{MAX}$)を 10 度、 15 度、 20 度、 25 度、 30 度、 35 度、 40 度、 45 度、 50 度、 60 度、 70 度、 80 度、及び 85 度のうちのいずれかとし、マイナス側の最大偏向角($\phi = -\phi_{MAX}$)を -10 度、 -15 度、 -20 度、 -25 度、 -30 度、 -35 度、 -40 度、 -45 度、 -50 度、 -60 度、 -70 度、 -80 度、及び -85 度のうちのいずれかとしてもよい。なお、偏向角 ϕ は

、これらの角度に限定するものではない。荷電粒子ビームは、振分電磁石 70 による偏向並びに偏向電磁石 80 による偏向により、図 3 (a) にも示されるように、様々な軌道を描いて、アイソセンタに入射する。即ち、荷電粒子ビームは、荷電粒子ビーム照射装置 50 により、複数の軌道のいずれかを通り、荷電粒子ビームを複数の方向からアイソセンタに照射することができる。なお、図 3 (a) においては振分電磁石 70 において即座に所望の偏向角 ϕ で偏向する様子を示しているが、これは、図面の見やすさを考慮してのものであり、実際には、振分電磁石 70 にあつては、荷電粒子ビームは、偏向起点 Q において、徐々に偏向を開始し、結果的に、X 軸に対して、偏向角 ϕ で出射する点に留意されたい。

[0030] 偏向電磁石 80 は、1 組以上のコイル対を備え、該コイル対は、荷電粒子ビームの進行方向と荷電粒子ビームの偏向角 ϕ の広がり方向に直交する方向（図中 Z 軸方向）を向いた一様な磁場を生成し（有効磁場領域 81 a、81 b）、荷電粒子ビームの経路を挟むように配置されている。偏向電磁石 80 の 1 組のコイル対が生成する有効磁場領域は、図 3 (a) に示すように XY 平面において三日月状の形状を有し、その詳細については後述する。なお、荷電粒子ビームが通過する、対向するコイル対間の隙間は（Z 軸方向の距離）、XY 面における荷電粒子ビームが広がる範囲に比べて十分に小さいため、ここでは荷電粒子ビームの Z 軸方向の広がりについては考慮しない。

[0031] 図 3 (b) は、偏向電磁石 80 の A-A 線断面図である。偏向電磁石 80 は、好ましくは少なくとも二組のコイル対 84 a、84 b を備える。コイル 84 a、84 b の内部にはそれぞれ磁極 85 a、85 b が組み込まれ、磁極 85 a、85 b にはヨーク 86 が接続されている。偏向電磁石 80 には電源装置（不図示）が接続されており、電源装置からコイル対 84 a、84 b に電流（励磁電流）が供給されることで、偏向電磁石 80 が励磁し、有効磁場領域 81 a、81 b（総称して有効磁場領域 81 ともいう。）が形成される。

[0032] なお、有効磁場領域 81 a の範囲と有効磁場領域 81 b の範囲は、異なつ

ていてもよい（非対称）。例えば、プラス（+Y軸方向）の偏向角 ϕ の範囲とマイナス（-Y軸方向）の偏向角 ϕ の範囲が非対称であれば、それに応じて有効磁場領域81a、81bも非対称に形成することで、使用されない有効磁場領域を削減できる。

[0033] 振分電磁石70により偏向され、偏向電磁石80に入射する荷電粒子ビームの偏向角 ϕ の範囲は、プラスの最大偏向角（ $\phi = \phi_{MAX}$ ）からマイナスの最大偏向角（ $\phi = -\phi_{MAX}$ ）の範囲であり、プラスの最大偏向角 ϕ_{MAX} は、10度以上90度未満の角度であり、マイナスの最大偏向角 $-\phi_{MAX}$ は、-90度超-10度以下の角度である。偏向角 ϕ 及び後述する照射角 θ は、XY面において、X軸に対する荷電粒子ビームの経路の角度である。

[0034] プラスの偏向角範囲（ $\phi = 0$ 超 $\sim \phi_{MAX}$ ）で入射した荷電粒子ビームは、第1のコイル対84aの有効磁場領域81aにより偏向され、照射ノズル11を通りアイソセンタOに照射される。マイナスの偏向角範囲（ $\phi = 0$ 未満 $\sim -\phi_{MAX}$ ）で入射した荷電粒子ビームは、第2のコイル対84bの有効磁場領域81bにより偏向され、照射ノズル11を通りアイソセンタOに照射される。有効磁場領域81aと有効磁場領域81bの磁場の向きは互いに反対の方向である。なお、振分電磁石70から偏向角 $\phi = 0$ で偏向電磁石80に入射する荷電粒子ビームは、有効磁場領域81a、81bのいずれか又は両領域81a、81bの間を通過し、照射ノズル（不図示）を通じてアイソセンタOに収束する。

[0035] 偏向電磁石80に入射する荷電粒子ビームの偏向角 ϕ は、振分電磁石70により制御される。振分電磁石70は、加速器（不図示）から供給される荷電粒子ビームの進行方向（図中X軸）に直交する方向（図中Z軸）を向いた磁場を生成し、通過する荷電粒子ビームを偏向する電磁石と、該磁場の強度及び向きを制御する制御部とを備える（いずれも不図示）。振分電磁石70は、磁場の強度及び向き（Z軸方向）を制御することで、XY面において荷電粒子ビームを偏向し、偏向起点Qにて偏向角 ϕ で偏向した荷電粒子ビームを偏向電磁石80に出射する。ここで、偏向起点QとアイソセンタOはX軸

上（同一水平面上）にある。

[0036] 図3（c）を参照して、偏向電磁石80の有効磁場領域81aを形成するための計算式について説明する。なお、本実施形態では、Z軸方向への荷電粒子ビームの偏向は考慮しないので、XY面における有効磁場領域の形成について説明する。偏向電磁石80の有効磁場領域81aについて説明するが、有効磁場領域81bについても同じであるため、説明は省略する。

[0037] まず、偏向電磁石80の荷電粒子ビームの出射側83の有効磁場領域81aの境界は、アイソセクタOから等距離 r_1 の位置にある範囲となるように決める。次に、偏向電磁石80の荷電粒子ビームの入射側82の有効磁場領域81aの境界は、後述する関係式（1）～（5）に基づき、アイソセクタOから所定の距離Lの位置にある仮想上の偏向起点Qにて偏向角 ϕ で偏向し、入射する荷電粒子ビームが、アイソセクタOに収束するように決められる。ここで、仮想上の偏向起点Qは、振分電磁石70の中心で荷電粒子ビームが偏向角 ϕ のキックを極短距離の間に受けると仮定した点である。

[0038] 偏向角 ϕ で輸送されてきた荷電粒子ビームは、入射側82の有効磁場領域81aの境界上の任意の点P1から入り、有効磁場領域81a内で曲率半径 r_2 の円運動を行い（このときの中心角は $(\phi + \theta)$ となる。）、出射側83の有効磁場領域81aの境界上の点P2から出て、アイソセクタOに向けて照射される。つまり、点P1と点P2とは半径 r_2 及び中心角 $(\phi + \theta)$ の円弧上にある。

[0039] 図3（c）に示すように、XY面においてアイソセクタOを原点とするXY座標系を想定する。出射側83の点P2とアイソセクタOとを結ぶ直線とX軸とがなす角度を照射角 θ とすると、入射側82の点P1の座標 (x, y) 、偏向角 ϕ 、及び点Qと点P1との間の距離Rは、以下の関係式（1）～（4）から求まる。

[0040]

[数1]

$$x = r_1 \cos \theta + r_2 (\sin \theta + \sin \Phi) \quad (1)$$

$$y = r_1 \sin \theta - r_2 (\cos \theta - \cos \Phi) \quad (2)$$

$$\Phi = \sin^{-1} \left(\frac{r_2}{\sqrt{R^2 + r_2^2}} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{r_1 \sin \theta - r_2 \cos \theta}{\sqrt{R^2 + r_2^2}} \right) \quad (3)$$

$$R = \sqrt{L^2 + r_1^2 - 2L(r_1 \cos \theta + r_2 \sin \theta)} \quad (4)$$

[0041] ここで、有効磁場領域 8 1 a には一様な磁束密度 B の磁場が生じており、荷電粒子ビームの運動量を p (およそ加速器に依存する)、電荷を q とすると、磁場中で偏向される荷電粒子ビームの曲率半径 r 2 は、式 (5) で表される。

[0042] [数2]

$$r_2 = \frac{p}{qB} \quad (5)$$

[0043] 上記関係式 (1) ~ (5) に基づき、偏向電磁石 8 0 のコイル対 8 4 a 及び磁極 8 5 a の形状及び配置を調整し、コイル対 8 4 a に流す電流を調整することで、有効磁場領域 8 1 a の境界の形状を調整できる。すなわち、出射側 8 3 の有効磁場領域 8 1 a の境界上の任意の点 P 2 とアイソセンタ O との間の距離が等距離 r 1 となるように境界を定め、有効磁場領域 8 1 a の磁束密度 B を調整して式 (5) から r 2 を決め、入射側 8 2 の有効磁場領域 8 1 a の境界上の点 P 1 と偏向起点 Q との間の距離 R が式 (4) の関係を有するように、入射側 8 2 の有効磁場領域 8 1 a の境界を定める。式 (3) の ϕ の極大値が、最大偏向角 ϕ_{MAX} となる。なお、限定されるものではないが、偏向起点 Q を通過する荷電粒子ビームが偏向電磁石 8 0 による偏向を受けなくともアイソセンタ O に収束するように、偏向起点 Q、偏向電磁石 8 0、及びアイソセンタ O の配置を調整しておくこと、装置構成をよりシンプルにできるため好ましい。

[0044] 上記のようにして求まる偏向電磁石 80 の有効磁場領域 81 a、81 b の境界は、荷電粒子ビームをアイソセンタ O に収束させるための理想的な形状である。なお実際には、この理想的な形状からのずれや磁場分布の不均一性があったとしても、偏向電磁石 80 の励磁量（磁束密度 B）を偏向角 ϕ ごとに予め微調整し、その情報を電源装置に記憶させておき、偏向角 ϕ と偏向電磁石 80 の電流量とが連動するようにそれらを制御することで、荷電粒子ビームをアイソセンタ O に合わせて偏向させることができる。また、事前に磁場分布の不均一性を予測できる場合には、偏向電磁石 80 のコイル対 84 a、84 b 及び磁極 85 a、85 b の形状及び配置を補正することで、荷電粒子ビームの軌道を微調整することも可能である。

[0045] これにより、荷電粒子ビームを患部（アイソセンタ O）に対して所望の角度で照射を行うことができる。

[0046] 図 4 は、荷電粒子ビーム照射システムを模式的に示す天面図である。図 4 に示すように、荷電粒子ビーム照射システムにおいては、少なくとも、オフセット部 100 と、振分電磁石 70 と、偏向電磁石 80 とは、直線状に配される。即ち、振分電磁石 70 及び偏向電磁石 80 により偏向される荷電粒子ビームの偏向方向は、鉛直方向となる。なお、荷電粒子ビーム照射システムにおいて、加速器 1 は、オフセット部 100 と、振分電磁石 70 と、偏向電磁石 80 と、直線状に配されてもよいし、配されなくてもよい。

[0047] <分散関数>

図 5 を用いて、分散関数について説明する。図 5 (a) は、オフセット部 100 がない場合の分散関数について説明する図であり、図 5 (b) は、オフセット部 100 がある場合の分散関数について説明する図である。

[0048] 図 5 (a) の上段は、オフセット部 100 を設けていない荷電粒子ビーム照射システムの構成を示す略図であり、振分電磁石 70 と、偏向電磁石 80 と、これらを経由してアイソセンタに照射される荷電粒子ビームの軌道の一例を示している。ここで、図 5 (a) の下段は、荷電粒子ビームの分散関数の例を示しており、振分電磁石 70 と偏向電磁石 80、アイソセンタとの対

応関係の例を示している。図5 (a) の下段の分散関数のグラフに示されるように、荷電粒子ビームにおいては、振分電磁石70を經由して偏向されることで分散関数が発生する。また、同様に、振分電磁石70により偏向された荷電粒子ビームは、偏向電磁石80においても偏向され、アイソセンタ0に向かう。このとき、偏向電磁石80により偏向されることで、荷電粒子ビームには、更に分散関数が発生する。その結果、図5 (a) 下段に図示するように、分散関数はアイソセンタにおいて0にならない、即ち、値を持つ可能性がある。分散関数が値を持つということは、加速器1から出射される荷電粒子ビームの運動量の変動により位置変動が生じる可能性があり、荷電粒子ビームが病巣に照射されない可能性がある。なお、図5 (a) 下段の分散関数は、鉛直方向における荷電粒子ビームの分散関数の値の変動を示している。

[0049] 一方で、図5 (b) の上段は、オフセット部100を設けていない荷電粒子ビーム照射システムの構成を示す略図であり、オフセット部100と、振分電磁石70と、偏向電磁石80と、これらを經由してアイソセンタに照射される荷電粒子ビームの軌道の一例を示している。また、図5 (b) の下段は、荷電粒子ビームの分散関数の例を示しており、振分電磁石70と偏向電磁石80、アイソセンタとの対応関係の例を示している。図5 (b) の下段の分散関数のグラフに示されるように、荷電粒子ビームにおいては、オフセット部100に設けられている第1偏向電磁石101と第2偏向電磁石103とにより偏向されることで分散関数が発生する。

[0050] 図5 (b) の上段のオフセット部100の後段において、振分電磁石70及び偏向電磁石80により荷電粒子ビームを偏向させてアイソセンタに向かわせる場合に、当然に分散関数が発生する。この分散関数は、振分電磁石70及び偏向電磁石80において荷電粒子ビームをどの程度偏向させるかによって、生じる値は異なるものの、予め、振分電磁石70及び偏向電磁石80の特性をシミュレートしておくことによって、算出することが可能である。そして、オフセット部100においては、振分電磁石70及び偏向電磁石8

0において発生する分散関数がアイソセンタにおいて0になるように、予め分散関数を発生させておく。即ち、図5（b）に示されるように、振分電磁石70に入射するタイミングにおいて、荷電粒子ビームの分散関数は所定の値を持っている。このようにオフセット部100において分散関数を持たせた荷電粒子ビームを出射し、振分電磁石70に入射させることで、結果として、荷電粒子ビーム照射装置50においてアイソセンタ0に照射される荷電粒子ビームの分散関数を抑制し、好適には0にすることができる。

[0051] <まとめ>

本実施形態1に示したように、荷電粒子ビーム照射装置50に配される振分電磁石70や偏向電磁石80を用いて荷電粒子ビームを偏向させた場合に発生する分散関数を、予め振分電磁石70の前段に配したオフセット部100において、故意に分散関数を発生させた荷電粒子ビームを生成し、振分電磁石70に入射させることで、結果的に、アイソセンタ0における分散関数を0にすることができる。したがって、荷電粒子ビーム照射装置50において、即ち、治療室30内に、分散関数を0にするための四極電磁石を配することなく、アイソセンタ0に荷電粒子ビームを収束させる（アイソセンタ0において荷電粒子ビームの分散関数を抑制し、好適には0にする）ことができる。したがって、四極電磁石を配さないことで、荷電粒子ビーム照射装置50の肥大化を防止することができる。その結果、治療室30をコンパクトにすることができる。

[0052] <実施の形態2>

実施の形態2においては、荷電粒子ビームの照射装置が、患者の周囲を回転する回転ガントリーの場合について説明する。

[0053] 図6は、実施の形態2に係る荷電粒子ビーム照射システムの構成を模式的に示すブロック図である。図6に示すブロック図の、図1に示すブロック図からの変更点は、荷電粒子ビーム照射装置の相違にあり、それ以外の構成については、実施の形態1と同様である。図6に示すように、荷電粒子ビーム照射システムは、加速器1と、第1オフセット部100aと、第2オフセッ

ト部100bと、回転ガントリー500と、を備える。回転ガントリー500は、本実施の形態2における荷電粒子ビーム照射装置に相当する。本実施の形態2において、回転ガントリー500は、照射ノズル91（照射部）が患者の周囲を回転することで、複数の方向から、アイソセンタに向けて荷電粒子ビームを照射することが可能となる。図6において、回転ガントリー500に対して荷電粒子ビームが入射する入射経路601は、同時に、回転ガントリー500の回転軸を示している。

[0054] 本実施の形態2においては、加速器1については、実施の形態1と同様であるので、説明を省略する。

[0055] また、第1オフセット部100aも上記実施の形態1におけるオフセット部100と同様であり、第1オフセット部100aは、第1偏向電磁石101aと、四極電磁石102aと、第2偏向電磁石103aとからなり、荷電粒子ビームを鉛直方向で偏向させて、所望の分散関数を鉛直方向に発生させた荷電粒子ビームを出射する。

[0056] 第2オフセット部100bは、第1オフセット部100aと同様に二つの偏向電磁石の間に四極電磁石を配した構成であり、第3偏向磁石101bと、四極電磁石102bと、第4偏向電磁石103bとが、この順に配された構成をしており、荷電粒子ビームの経路上に配される。ただし、第2オフセット部100bは、第1オフセット部100aに対して、当該構成全体を90度回転させた構成となっている。即ち、第1オフセット部100aが、荷電粒子ビームを鉛直方向に偏向させて、鉛直方向の分散関数を発生させるのに対して、第2オフセット部100bは、荷電粒子ビームを水平方向に偏向させて、水平方向の分散関数を発生させる。即ち、第1オフセット部100aは垂直オフセット部と言い換えることができ、第2オフセット部100bは、水平オフセット部と言い換えることもできる。これにより、回転ガントリー500が、患者に対してどの向きに傾いていようとも、アイソセンタ0における分散関数を鉛直方向並びに水平方向の双方に対して抑制する（好適には0にする）よう調整することができる。

[0057] この場合、第1オフセット部100aによる垂直方向の荷電粒子ビームの制御について、オフセット制御部110aは、一例として、軸601を中心とし、例えば、水平方向を基準とした回転ガントリー500の様々な回転角に対して、発生させるべき分散関数の値に応じた四極電磁石102aの励磁量をシミュレーションにより計算し、制御テーブルとして組み合わせを記憶して、制御することで、適宜四極電磁石102aの励磁量を制御することとしてよい。これにより、第1オフセット部100aは、鉛直方向の分散関数を制御することができる。また、あるいは、軸601の回転角と、それに対して望ましい四極電磁石102の励磁量との関係を学習した学習済みモデルを用い、当該学習済みモデルに対して、回転ガントリー500の基準位置からの回転角を入力して、四極電磁石102bの励磁量を得るように構成してもよい。なお、ここでは、回転角を用いているが、これは、例えば、回転ガントリー500の照射ノズル91の座標値などによって代替されてもよい。

[0058] 同様に、第2オフセット部100bによる垂直方向の荷電粒子ビームの制御について、オフセット制御部110bは、一例として、軸601を中心とし、例えば、鉛直方向（水平方向でもよい）を基準とした回転ガントリー500の様々な回転角に対して、発生させるべき分散関数の値に応じた四極電磁石102bの励磁量をシミュレーションにより計算し、制御テーブルとして組み合わせを記憶して、制御することで、適宜四極電磁石102aの励磁量を制御することとしてよい。これにより、第2オフセット部100bは、水平方向の分散関数を制御することができる。また、あるいは、軸601の回転角と、それに対して望ましい四極電磁石102bの励磁量との関係を学習した学習済みモデルを用い、当該学習済みモデルに対して、回転ガントリー500の基準位置からの回転角を入力して、四極電磁石102bの励磁量を得るように構成してもよい。なお、ここでは、回転角を用いているが、これは、例えば、回転ガントリー500の照射ノズル91の座標値などによって代替されてもよい。

[0059] 即ち、実施の形態2においては、オフセット部制御部（図示せず）は、第

1 オフセット部100aと第2オフセット部100bとを制御する。オフセット制御部110a、110bは、回転ガントリー500における回転軸601の回転角及び回転ガントリー500に設けられる複数の偏向電磁石によって発生する分散関数について、鉛直方向成分と水平方向成分とが共にアイソセンタにおいて抑制される（好適には0となる）ように予め回転ガントリー500に入射するタイミングで既に分散関数を発生させた荷電粒子ビームが入射するよう、第1オフセット部100a及び第2オフセット部100bの四極電磁石の励磁量を制御する。

[0060] これによって、回転ガントリーを用いる場合でも照射ノズル91に四極電磁石を配することなく、アイソセンタにおいて、分散関数を0にした荷電粒子ビームを照射することができる。

[0061] <まとめ>

実施の形態2に示すように、偏向電磁石を含む回転ガントリーを照射装置とする荷電粒子ビーム照射システムにあっても、鉛直方向と水平方向とで偏向を行う2つのオフセット部を設けることで、実施の形態1と同様に、照射装置に四極電磁石を配することなく、アイソセンタにおいて荷電粒子ビームの分散関数を抑制し、好適には0にすることができる。したがって、照射装置の肥大化を抑制することができる。

[0062] <変形例>

上記実施形態に示す荷電粒子ビーム照射システム及びオフセット部100は、上記実施形態に示した態様に限定するものではない。適宜、当業者の知見内で変更することが可能である。以下、各種変形例について説明する。

[0063] (1) 上位実施形態においては、オフセット部100の基本構成として、四極電磁石が二つの偏向電磁石により挟まれる態様で構成される旨を説明したが、オフセット部100の構成は、上記実施形態に示した態様に限定するものではない。

[0064] オフセット部100は、図7(a)に示すように、第2偏向電磁石103の後段（荷電粒子ビーム照射装置側）にも四極電磁石104、105を備え

る構成としてもよい。ここでは、二つの四極電磁石104、105を備える例を示しているが、四極電磁石の数は2つに限定するものではなく、1つであってもよいし、3つ以上であってもよい。

[0065] 四極電磁石104、105の輸送路における役目は、第2偏向電磁石103において分散関数を持たせた荷電粒子ビームが発散し、輸送中のロスが大きくなるのを抑制し、荷電粒子ビームを調整するために用いられる。

[0066] なお、図7(a)においては、オフセット部100を加速器1と振分電磁石70との間に配するものとして示しているが、図7(a)に示す構成は、もちろん、上記実施の形態2におけるオフセット部100a、100bとして使用することもできることは言うまでもない。

[0067] (2) 上記実施形態においては、オフセット部100を一つ配した構成としている。これにより、荷電粒子ビームの高さ方向を調整し、荷電粒子ビーム照射装置に入射させることができる。一方で、荷電粒子ビームの高さを変更せず、かつ、オフセット部としての機能、即ち、アイソセンタにおける荷電粒子ビームの分散関数を0にするように、オフセット部100から出射する荷電粒子ビームに分散関数を持たせたい場合もある。

[0068] このような場合には、図7(b)に示す構成のようにすることで、当該構成を実現することができる。

[0069] 即ち、第1オフセット部100aと同じ構成であって、荷電粒子ビームの進行方向において、第1オフセット部100aと対称になるように配した第2オフセット部100cを設ける構成としてよい。第1オフセット部100aは、第1偏向電磁石101aと、四極電磁石102aと、第2偏向電磁石103aとから成り、当該構成は、実施の形態1に示すオフセット部100と同様である。

[0070] 一方、第2オフセット部100cは、図7(b)に示されるように、第1オフセット部100aと紙面中央で対称になるように構成されており、第2偏向電磁石103aに対向するように、第1偏向電磁石101c、四極電磁石102c、第2偏向電磁石103cが設けられた構成となっている。

[0071] オフセット部においては、二つの偏向電磁石を用いる関係上、どうしても入射時と出射時とで、荷電粒子ビームの上下方向（鉛直方向）の入射位置がずれることになるが、図7（b）の構成であれば、荷電粒子ビームの上下方向のずれを生じることなく、かつ、アイソセンタ0において、荷電粒子ビームの分散関数を0になるように制御することができる。なお、図7（b）の場合、オフセット制御部は、第1オフセット部100aと第2オフセット部100cとの双方の四極電磁石102a、102cの励磁量を制御する。

[0072] （3） 上記実施の形態1、2において、オフセット部100、100a、100bは、加速器1からアイソセンタまで荷電粒子ビームが輸送されるまでの経路において、オフセット部100以降において、荷電粒子ビームが電磁石（振分電磁石、偏向電磁石等）により偏向されて、荷電粒子ビームに分散関数が発生する場合であって、偏向後にこの分散関数を調整するための四極電磁石を配さない、あるいは、配することができない、配するのが難しい場合に、当該電磁石の前の経路上に設けられる。そして、オフセット部100、100a、100bは、加速器1から荷電粒子ビーム照射装置50あるいは回転ガントリー500まで荷電粒子ビームが輸送される経路の最終段（最も下流となる位置）に設けられることが好ましい。

符号の説明

[0073]	1	加速器
	10	移動車両
	11	照射ノズル
	30	治療室
	15	治療台
	50	荷電粒子ビーム照射装置
	70	振分電磁石
	80	偏向電磁石
	100	オフセット部
	101	第1偏向電磁石

- 1 0 2 四極電磁石
- 1 0 3 第2偏向電磁石
- 1 0 4 四極電磁石
- 1 0 5 四極電磁石
- 1 1 0 オフセット制御部
- 1 0 0 a 第1オフセット部
- 1 0 1 a 第1偏向電磁石
- 1 0 2 a 四極電磁石
- 1 0 3 a 第2偏向電磁石
- 1 0 0 b 第2オフセット部
- 1 0 1 b 第1偏向電磁石
- 1 0 2 b 四極電磁石
- 1 0 3 b 第2偏向電磁石
- 1 0 0 c 第2オフセット部
- 1 0 1 c 第1偏向電磁石
- 1 0 2 c 四極電磁石
- 1 0 3 c 第2偏向電磁石
- 5 0 0 回転ガントリー

請求の範囲

- [請求項1] 加速器と、
前記加速器から出射された荷電粒子ビーム荷電粒子ビームを偏向し得る電磁石と、
アイソセンタに対して複数の方向から荷電粒子ビームを照射する荷電粒子ビーム照射装置と、
前記電磁石により発生する分散関数が前記アイソセンタにおいて抑制されるように制御するオフセット部を備える
荷電粒子ビーム照射システム。
- [請求項2] 前記オフセット部は、
第1 偏向電磁石と、
四極電磁石と、
第2 偏向電磁石と、
前記電磁石により発生する分散関数が抑制されるように、前記オフセット部に入力される荷電粒子ビームに対して分散関数を発生させる制御部と、を備え、
前記第1 偏向電磁石と、前記四極電磁石と、前記第2 偏向電磁石とは、前記荷電粒子ビームの経路上に、この順に配列される
ことを特徴とする請求項1 に記載の荷電粒子ビーム照射システム。
- [請求項3] 前記荷電粒子ビーム照射装置は、前記電磁石として、前記荷電粒子ビームを鉛直方向で偏向し得る振分電磁石及び偏向電磁石を含み、
前記オフセット部の前記第1 偏向電磁石及び前記第2 偏向電磁石は、前記荷電粒子ビームを鉛直方向で偏向し得る
ことを特徴とする請求項2 に記載の荷電粒子ビーム照射システム。
- [請求項4] 前記荷電粒子ビーム照射装置は、前記荷電粒子ビームを偏向し得る偏向電磁石を含み、前記アイソセンタに対して荷電粒子ビームを照射する照射ノズルが回転する回転ガントリーであり、
前記オフセット部として、

前記荷電粒子ビームを鉛直方向で偏向し得る第1偏向電磁石及び第2偏向電磁石を備え、間に四極電磁石が挿入されている第1オフセット部と、

前記荷電粒子ビームを水平方向で偏向し得る第3偏向電磁石及び第4偏向電磁石を備え、間に四極電磁石が挿入されている第2オフセット部と、を備える

ことを特徴とする請求項2に記載の荷電粒子ビーム照射システム。

[請求項5] 前記制御部は、前記分散関数の値が0になるように前記オフセット部を制御する

ことを特徴とする請求項1に記載の荷電粒子ビーム照射システム。

[請求項6] 前記加速器から前記アイソセンタに至るまでの前記荷電粒子ビームが通過する経路において、前記電磁石以降に四極電磁石が配されていない

ことを特徴とする請求項1～5のいずれか一項に記載の荷電粒子ビーム照射システム。

[請求項7] 加速器から出射した荷電粒子ビームの経路上に配されてアイソセンタにおける荷電粒子ビームの分散関数を抑制するためのオフセット装置であって、

第1偏向電磁石と、

四極電磁石と、

第2偏向電磁石と、

前記第2偏向電磁石を経由した荷電粒子ビームが振分電磁石と、偏向電磁石とを経由してアイソセンタに照射される荷電粒子ビームの分散関数を抑制するように、前記第2偏向電磁石により前記荷電粒子ビームに分散関数を発生させる制御部と、を備え、

前記第1偏向電磁石と、前記四極電磁石と、前記第2偏向電磁石とは、この順に配列される

オフセット装置。

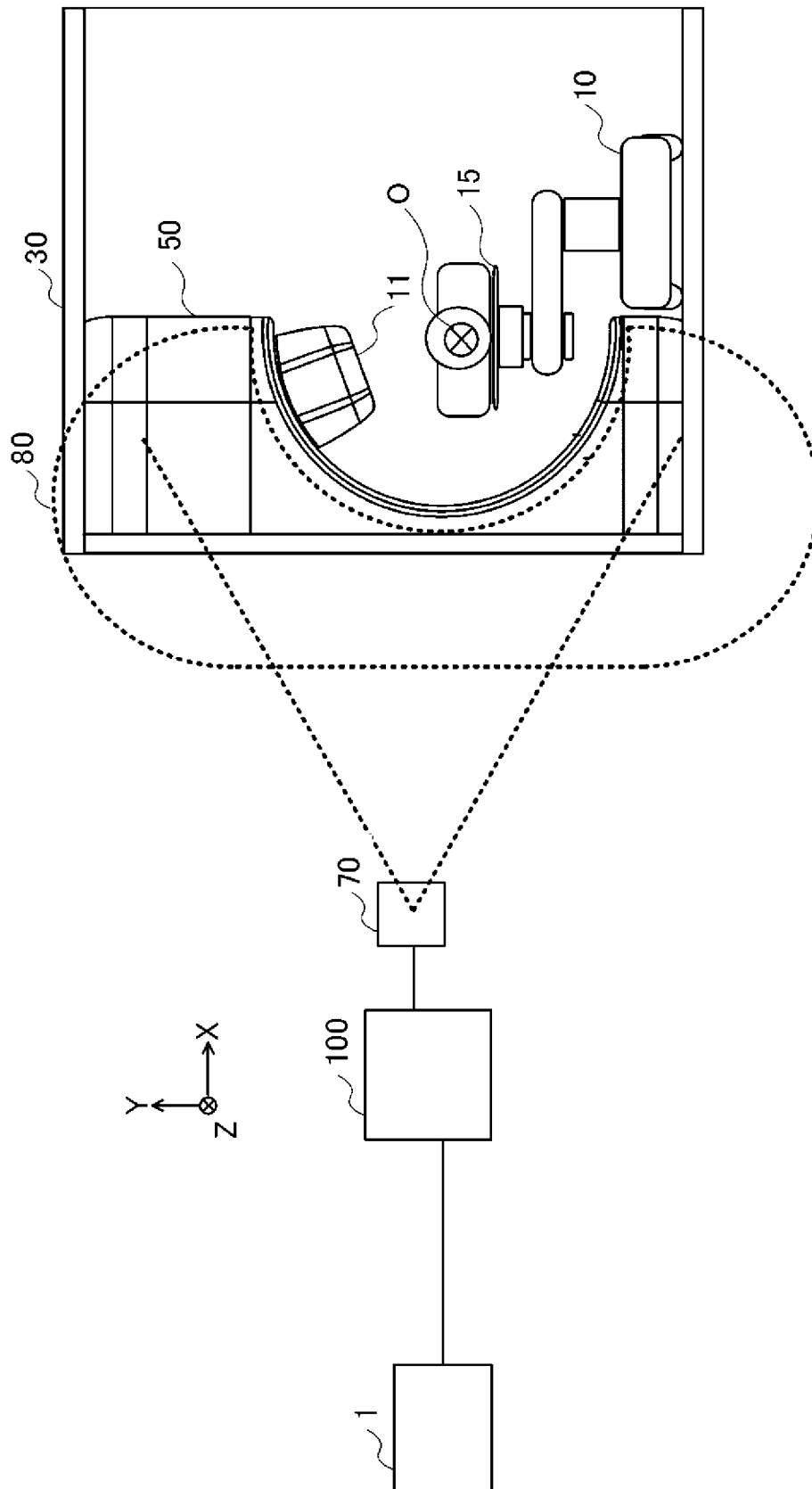
[請求項8]

加速器と、前記加速器から出射された荷電粒子ビーム荷電粒子ビームを偏向し得る電磁石と、アイソセンタに対して複数の方向から荷電粒子ビームを照射する荷電粒子ビーム照射装置と、前記電磁石により発生する分散関数が前記アイソセンタにおいて抑制されるように制御するオフセット部を備える荷電粒子ビーム照射システムにおける前記オフセット部のコンピュータによる制御方法であって、

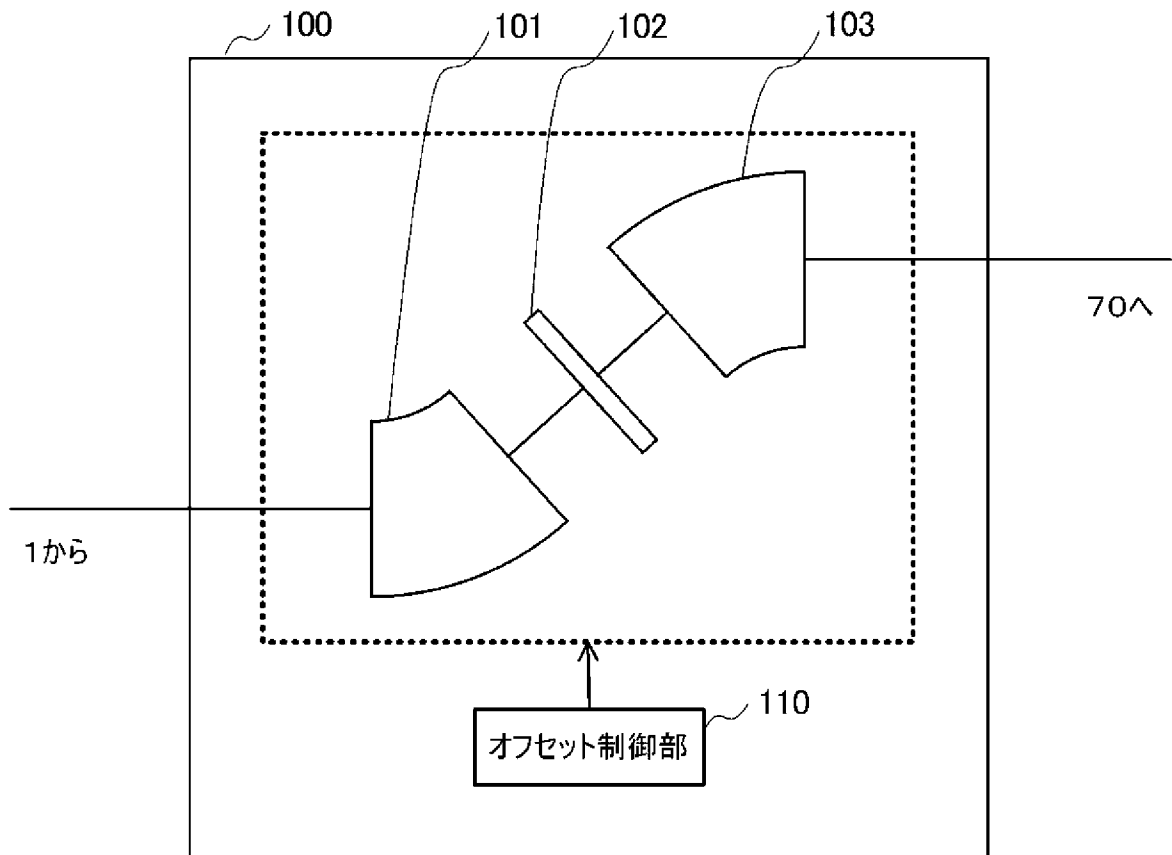
前記電磁石における偏向に関する偏向情報の入力を受け付ける受付ステップと、

前記偏向情報に基づいて、前記電磁石により発生する分散関数が前記アイソセンタにおいて抑制されるように制御する制御ステップと、
を含む制御方法。

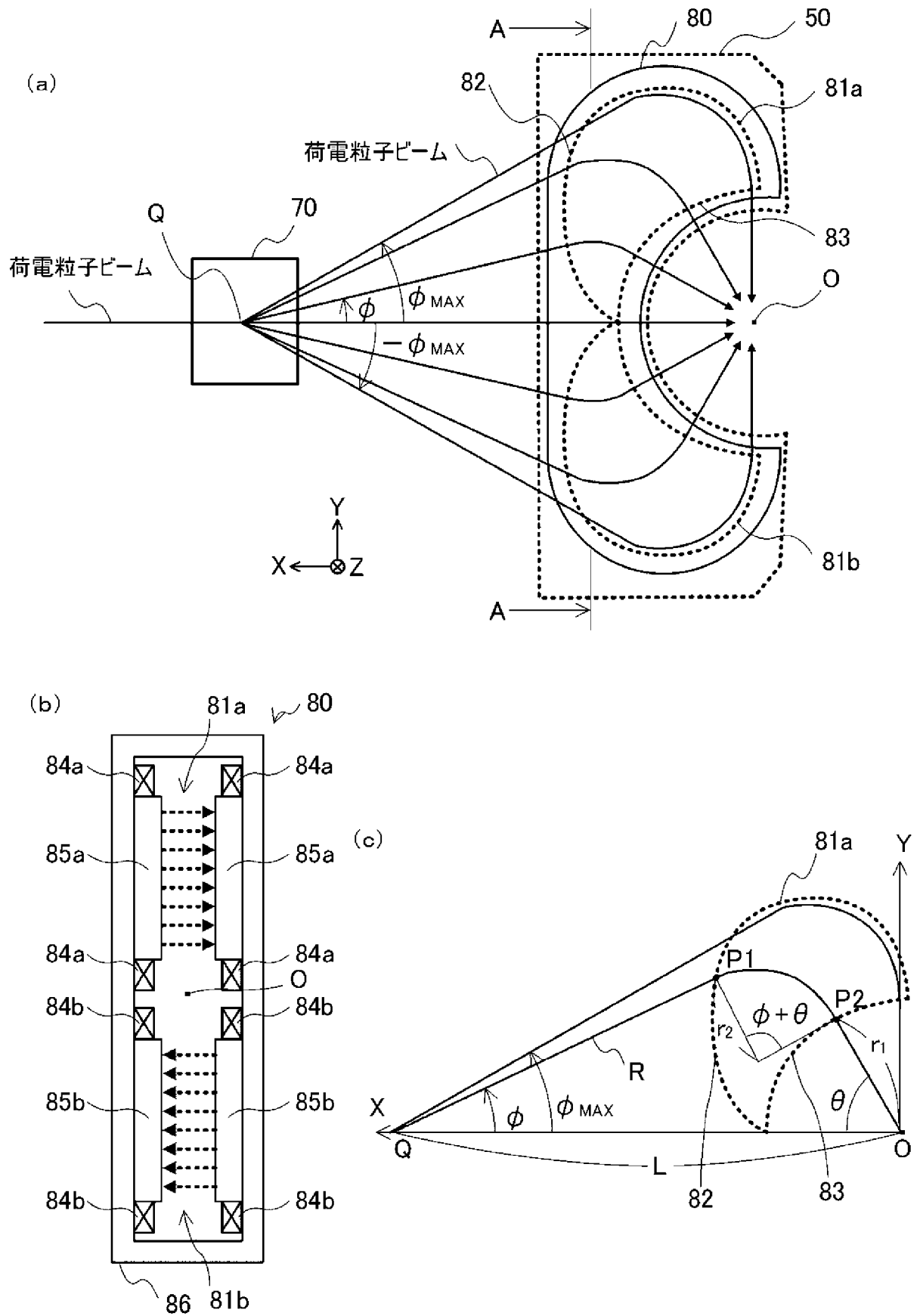
[図1]



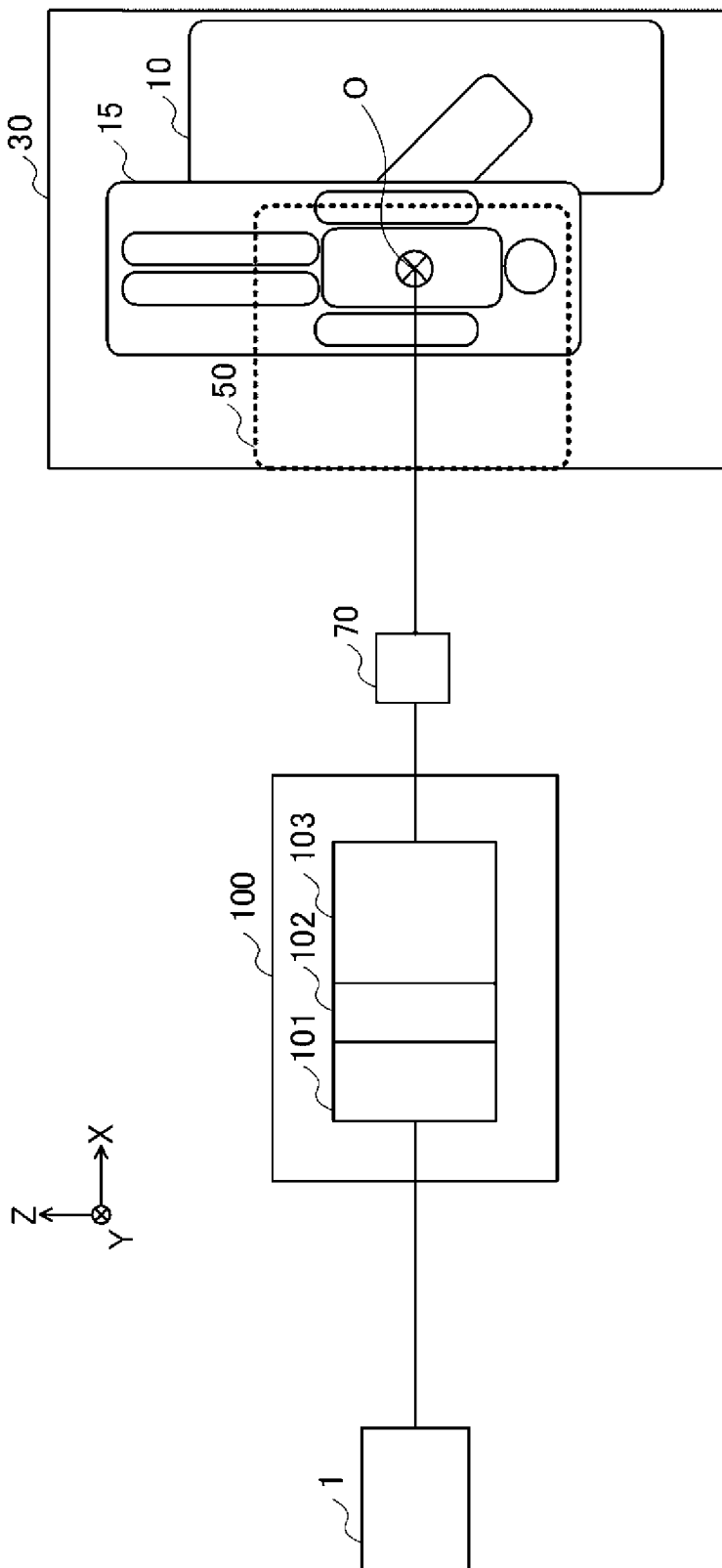
[図2]



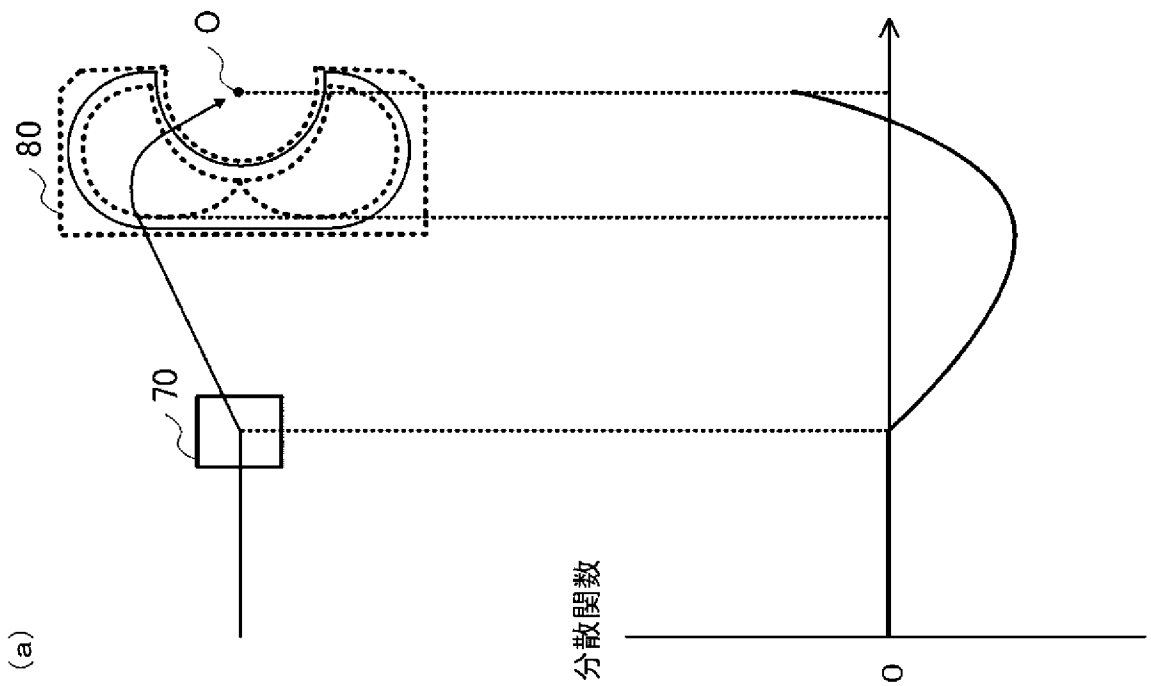
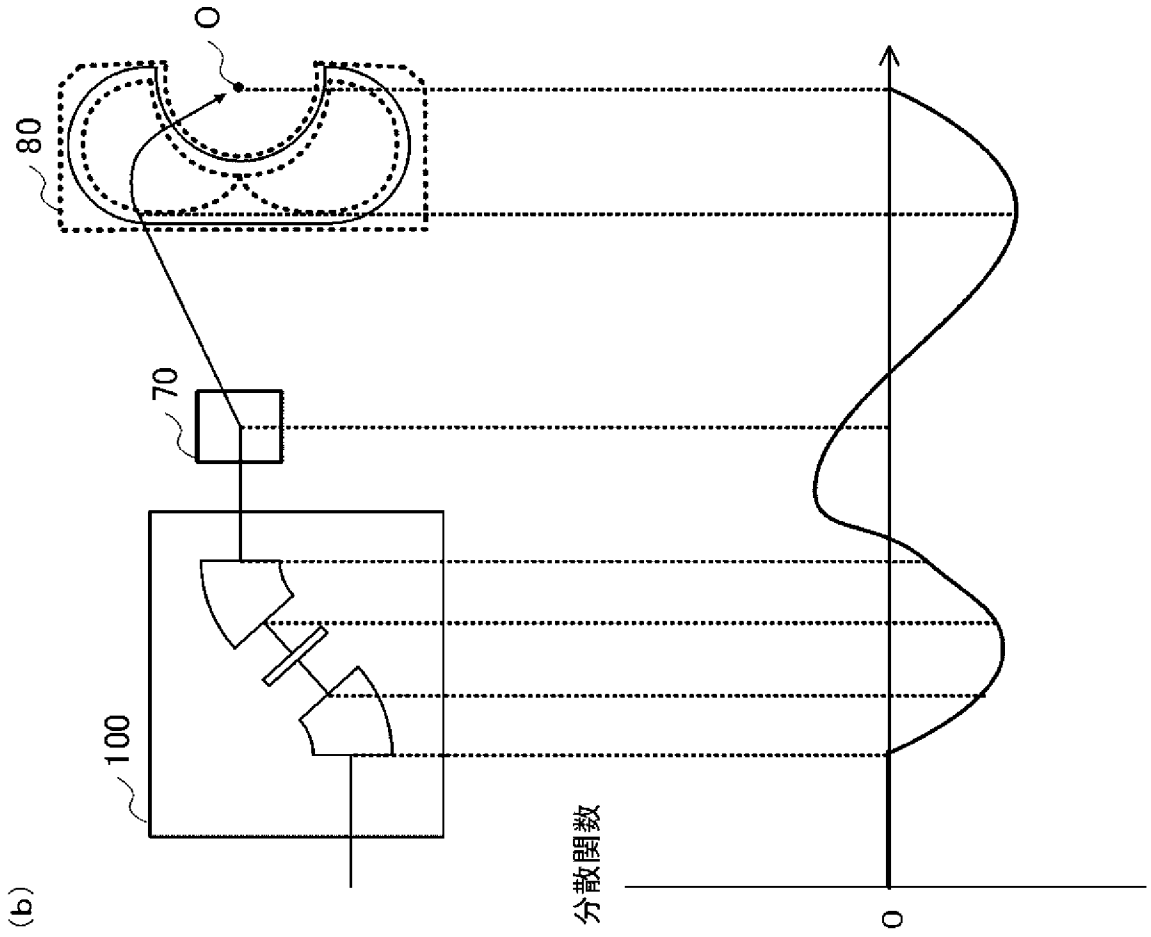
[図3]



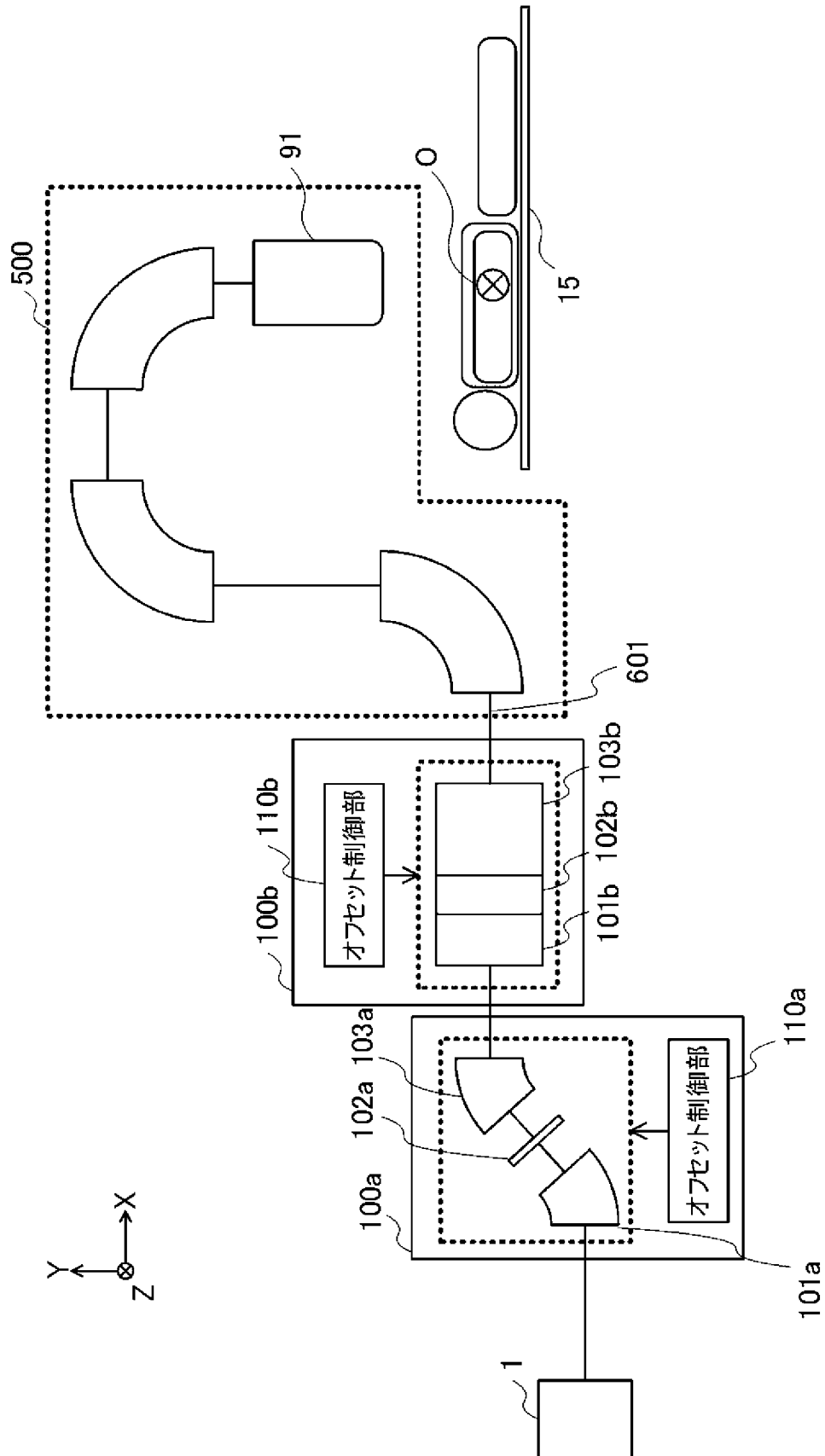
[図4]



[図5]

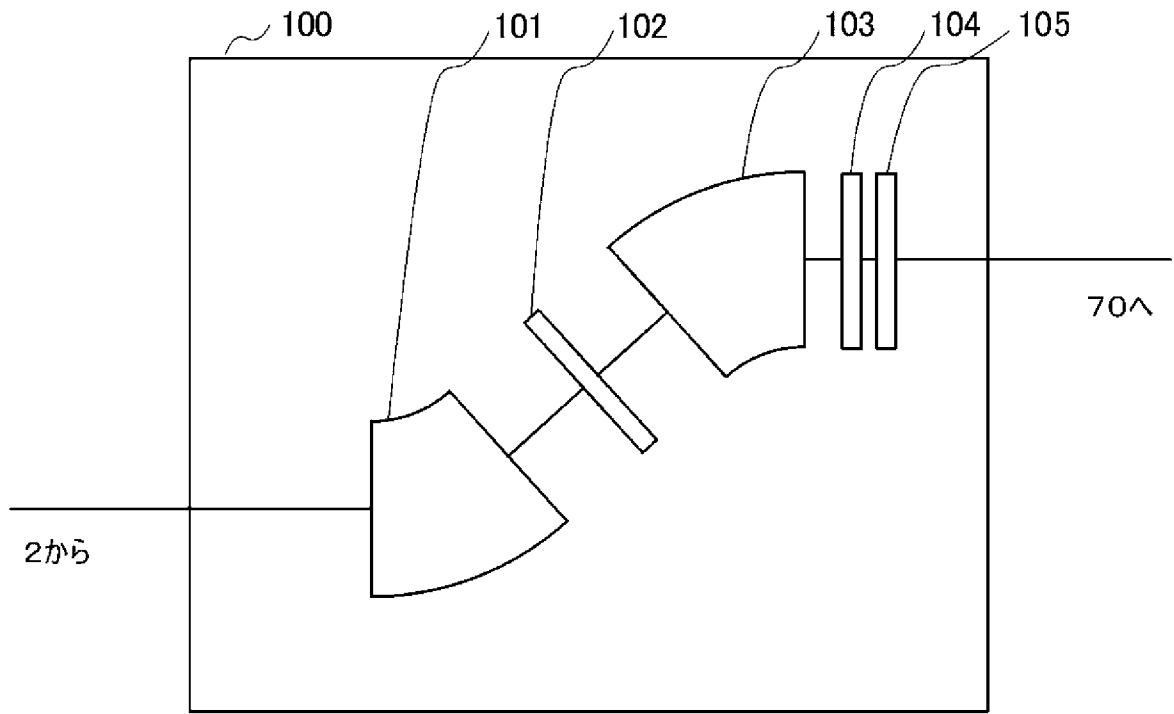


[図6]

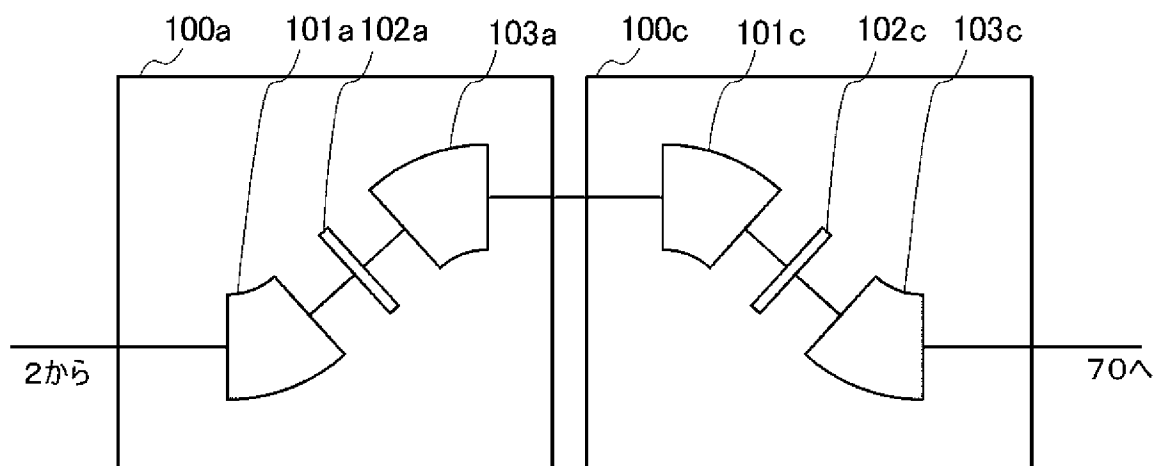


[図7]

(a)



(b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/012415

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G21K 5/04</i> (2006.01)i; <i>A61N 5/10</i> (2006.01)i; <i>G21K 1/093</i> (2006.01)i; <i>H05H 13/04</i> (2006.01)i FI: G21K5/04 Z; A61N5/10 H; G21K5/04 A; G21K1/093 D; H05H13/04 Z		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G21K1/00-3/00; G21K5/00-7/00; A61N5/10; H05H3/00-15/00		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) Google Scholar		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2015-90 A (HITACHI, LTD.) 05 January 2015 (2015-01-05) paragraphs [0013], [0015], [0016], [0018], [0021], fig. 1, 4	1-2, 5
A		3-4, 6-8
A	JP 2018-187308 A (HITACHI, LTD.) 29 November 2018 (2018-11-29)	1-8
A	GIOVANNELLI, Anna Chiara et al. Beam properties within the momentum acceptance of a clinical gantry beamline for proton therapy, Medical Physics, 2022, vol. 49, pp. 1417-1431	1-8
A	US 2010/0230620 A1 (BROOKHAVEN SCIENCE ASSOCIATES, LLC) 16 September 2010 (2010-09-16)	1-8
A	US 2020/0306561 A1 (VARIAN MEDICAL SYSTEMS PARTICLE THERAPY GMBH) 01 October 2020 (2020-10-01)	1-8
A	WO 2013/069379 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 16 May 2013 (2013-05-16)	1-8
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 08 May 2024		Date of mailing of the international search report 21 May 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/JP2024/012415

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2015-90 A	05 January 2015	(Family: none)	
JP 2018-187308 A	29 November 2018	US 2018/0326226 A1 EP 3405009 A1	
US 2010/0230620 A1	16 September 2010	(Family: none)	
US 2020/0306561 A1	01 October 2020	WO 2020/200728 A1 CN 114072204 A	
WO 2013/069379 A1	16 May 2013	US 2014/0235922 A1 EP 2777766 A1 CN 103917274 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G21K 5/04(2006.01)i; A61N 5/10(2006.01)i; G21K 1/093(2006.01)i; H05H 13/04(2006.01)i FI: G21K5/04 Z; A61N5/10 H; G21K5/04 A; G21K1/093 D; H05H13/04 Z		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G21K1/00-3/00; G21K5/00-7/00; A61N5/10; H05H3/00-15/00 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2024年 日本国実用新案登録公報 1996-2024年 日本国登録実用新案公報 1994-2024年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語） Google Scholar		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2015-90 A (株式会社日立製作所) 05.01.2015 (2015-01-05) 段落[0013], [0015]-[0016], [0018], [0021], 図1, 4	1-2, 5 3-4, 6-8
A	JP 2018-187308 A (株式会社日立製作所) 29.11.2018 (2018-11-29)	1-8
A	Anna Chiara Giovannelli et al., Beam properties within the momentum acceptance of a clinical gantry beamline for proton therapy, Medical Physics, 2022, Vol. 49, p.1417-1431	1-8
A	US 2010/0230620 A1 (BROOKHAVEN SCIENCE ASSOCIATES, LLC) 16.09.2010 (2010-09-16)	1-8
A	US 2020/0306561 A1 (VARIAN MEDICAL SYSTEMS PARTICLE THERAPY GMBH) 01.10.2020 (2020-10-01)	1-8
A	WO 2013/069379 A1 (三菱電機株式会社) 16.05.2013 (2013-05-16)	1-8
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 08.05.2024	国際調査報告の発送日 21.05.2024	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 小林 幹 2G 1132 電話番号 03-3581-1101 内線 3226	

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2024/012415

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2015-90 A	05.01.2015	(ファミリーなし)	
JP 2018-187308 A	29.11.2018	US 2018/0326226 A1 EP 3405009 A1	
US 2010/0230620 A1	16.09.2010	(ファミリーなし)	
US 2020/0306561 A1	01.10.2020	WO 2020/200728 A1 CN 114072204 A	
WO 2013/069379 A1	16.05.2013	US 2014/0235922 A1 EP 2777766 A1 CN 103917274 A	