

(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2016-83344

(P2016-83344A)

(43) 公開日 平成28年5月19日 (2016.5.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 N 5/10 (2006.01)	A 6 1 N 5/10 H	4 C 0 8 2
G 2 1 K 5/04 (2006.01)	G 2 1 K 5/04 A	
G 2 1 K 5/00 (2006.01)	G 2 1 K 5/00 R	
G 2 1 K 1/087 (2006.01)	G 2 1 K 1/087 S	
	A 6 1 N 5/10 J	

審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2015-117703 (P2015-117703)
 (22) 出願日 平成27年6月10日 (2015.6.10)
 (31) 優先権主張番号 特願2014-219305 (P2014-219305)
 (32) 優先日 平成26年10月28日 (2014.10.28)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 301032942
 国立研究開発法人放射線医学総合研究所
 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号
 (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 100117787
 弁理士 勝沼 宏仁
 (74) 代理人 100107582
 弁理士 関根 毅
 (74) 代理人 100118876
 弁理士 鈴木 順生

最終頁に続く

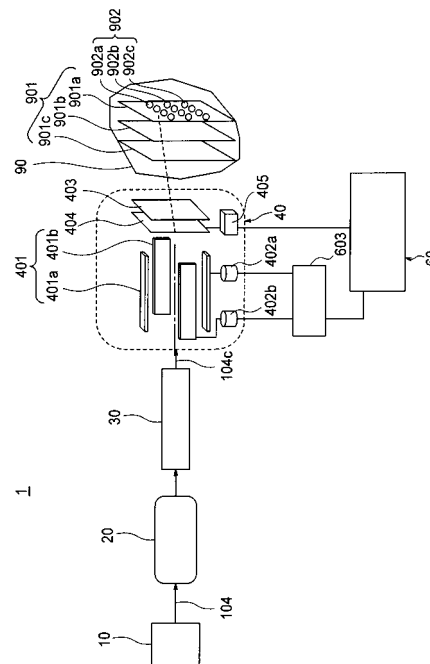
(54) 【発明の名称】 荷電粒子ビーム照射装置

(57) 【要約】

【課題】大型化を抑制することができるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供する。

【解決手段】本実施形態による荷電粒子ビーム照射装置は、荷電粒子ビームが入射する第1方向に実質的に直交する第2方向に前記荷電粒子ビームを偏向する第1走査電磁石部と、前記第1方向および前記第2方向に実質的に直交する第3方向に前記荷電粒子ビームを偏向する第2走査電磁石部と、を備え、前記第1および第2走査電磁石部は、前記第1方向に対して並列に配置される。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

荷電粒子ビームが入射する第 1 方向に実質的に直交する第 2 方向に前記荷電粒子ビームを偏向する第 1 走査電磁石部と、

前記第 1 方向および前記第 2 方向に実質的に直交する第 3 方向に前記荷電粒子ビームを偏向する第 2 走査電磁石部と、

を備え、前記第 1 および第 2 走査電磁石部は、前記第 1 方向に対して並列に配置される荷電粒子ビーム照射装置。

【請求項 2】

前記第 1 走査電磁石部は、中空形状の第 1 構造体と、前記第 1 構造体の前記第 2 方向において対向する第 1 および第 2 面にそれぞれ設けられた第 1 および第 2 コイルと、を備え、

前記第 2 走査電磁石部は、前記第 1 構造体および前記第 1 コイルならびに前記第 2 コイルを覆う中空形状の第 2 構造体と、前記第 2 構造体の前記第 3 方向において対向する第 3 および第 4 面にそれぞれ設けられた第 3 および第 4 コイルと、を備えている請求項 1 記載の荷電粒子ビーム照射装置。

【請求項 3】

前記第 1 走査電磁石部は、前記第 1 方向に沿って配列された複数段の第 1 走査電磁石を有し、

前記第 2 走査電磁石部は、前記第 1 方向に沿って配列され、前記複数段の第 1 走査電磁石に対応して設けられた複数段の第 2 走査電磁石を有し、

各第 1 走査電磁石は対応する第 2 走査電磁石と共に前記第 1 方向に並列に配置され、

前記第 1 走査電磁石および前記第 2 走査電磁石は、前段よりも後段の口径が大きい、請求項 1 記載の荷電粒子ビーム照射装置。

【請求項 4】

各第 1 走査電磁石は、中空形状の第 1 構造体と、前記第 1 構造体の前記第 2 方向において対向する第 1 および第 2 面にそれぞれ設けられた第 1 および第 2 コイルと、を備え、

各第 2 走査電磁石は、前記第 1 構造体および前記第 1 コイルならびに前記第 2 コイルを覆う中空形状の第 2 構造体と、前記第 2 構造体の前記第 3 方向において対向する第 3 および第 4 面にそれぞれ設けられた第 3 および第 4 コイルと、を備えている請求項 3 記載の荷電粒子ビーム照射装置。

【請求項 5】

前記第 1 および第 2 走査電磁石部は、前記第 1 方向に沿って前記荷電粒子ビームの入射側から口径が連続的に大きくなるように構成されている請求項 1 記載の荷電粒子ビーム照射装置。

【請求項 6】

前記第 1 走査電磁石部は、前記第 1 方向に沿って前記荷電粒子ビームの入射側から口径が連続的に大きくなる中空形状の第 1 構造体と、前記第 1 構造体の前記第 2 方向において対向する第 1 および第 2 面にそれぞれ設けられた第 1 および第 2 コイルと、を備え、

前記第 2 走査電磁石部は、前記第 1 構造体および前記第 1 コイルならびに前記第 2 コイルを覆い、前記第 1 方向に沿って前記荷電粒子ビームの入射側から口径が連続的に大きくなる中空形状の第 2 構造体と、前記第 2 構造体の前記第 3 方向において対向する第 3 および第 4 面にそれぞれ設けられた第 3 および第 4 コイルと、を備えている請求項 5 記載の荷電粒子ビーム照射装置。

【請求項 7】

前記第 1 走査電磁石部および前記第 2 走査電磁石部の外側に設けられた中空形状のヨークを更に備えた請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の荷電粒子ビーム照射装置。

【請求項 8】

前記第 1 走査電磁石部は、前記荷電粒子ビームの入射側から出射側まで実質的に一定であるかまたは線形に増大する口径を有する第 1 走査電磁石と、前記第 1 走査電磁石の後段

10

20

30

40

50

に配置され前記荷電粒子ビームの入射側から出射側まで線形に増大する口径を有する第 2 走査電磁石と、を備え前記第 1 走査電磁石の出射側の口径と前記第 2 走査電磁石の入射側の口径が実質的に同じであり、

前記第 2 走査電磁石部は、前記荷電粒子ビームの入射側から出射側まで実質的に一定であるかまたは線形に増大する口径を有する第 3 走査電磁石と、前記第 3 走査電磁石の後段に配置され前記荷電粒子ビームの入射側から出射側まで線形に増大する口径を有する第 4 走査電磁石と、を備え前記第 3 走査電磁石の出射側の口径と前記第 4 走査電磁石の入射側の口径が実質的に同じである請求項 1 記載の荷電粒子ビーム照射装置。

【請求項 9】

前記第 1 および第 2 走査電磁石は、中空形状の第 1 構造体と、前記第 1 構造体の前記第 2 方向において対向する第 1 および第 2 面のうちの前記第 1 面に設けられた第 1 コイル部と、前記第 2 面に設けられたおよび第 2 コイル部と、を備え、

前記第 3 および第 4 走査電磁石は、前記第 1 構造体および前記第 1 コイル部および第 2 コイル部を覆う中空形状の第 2 構造体と、前記第 2 構造体の前記第 3 方向において対向する第 3 および第 4 面のうちの前記第 3 面に設けられた第 3 コイル部と、前記第 4 面に設けられた第 4 コイル部と、を備え、

前記第 1 構造体は、入射側の口径が出射側の口径と実質的に同一であるかまたは線形に増大する第 1 部分と、前記第 1 部分に接続しかつ口径が出射側に向かって線形に増大する第 2 部分と、を有し、

前記第 2 構造体は、入射側の口径が出射側の口径と実質的に同一であるかまたは線形に増大する第 3 部分と、前記第 3 部分に接続しかつ口径が出射側に向かって線形に増大する第 4 部分と、を有している請求項 8 記載の荷電粒子ビーム照射装置。

【請求項 10】

前記第 1 コイル部は前記第 1 構造体の前記第 1 部分および第 2 部分に渡って設けられた第 1 コイルを有し、

前記第 2 コイル部は前記第 1 構造体の前記第 1 部分および第 2 部分に渡って設けられた第 2 コイルを有し、

前記第 3 コイル部は前記第 2 構造体の前記第 3 部分および第 4 部分に渡って設けられた第 3 コイルを有し、

前記第 4 コイル部は前記第 2 構造体の前記第 3 部分および第 4 部分に渡って設けられた第 4 コイルを有する請求項 9 記載の荷電粒子ビーム照射装置。

【請求項 11】

前記第 1 コイルは、前記第 2 部分に設けられた部分の巻き線数が前記第 1 部分に設けられた部分の巻き線数よりも多く、

前記第 2 コイルは、前記第 2 部分に設けられた部分の巻き線数が前記第 1 部分に設けられた部分の巻き線数よりも多く、

前記第 3 コイルは、前記第 4 部分に設けられた部分の巻き線数が前記第 3 部分に設けられた部分の巻き線数よりも多く、

前記第 4 コイルは、前記第 4 部分に設けられた部分の巻き線数が前記第 3 部分に設けられた部分の巻き線数よりも多い請求項 9 記載の荷電粒子ビーム照射装置。

【請求項 12】

前記第 1 コイル部は、前記第 1 構造体の前記第 1 部分に設けられた第 1 コイルと、前記第 2 部分に設けられた第 2 コイルと、を有し、

前記第 2 コイル部は、前記第 1 構造体の前記第 1 部分に設けられた第 3 コイルと、前記第 2 部分に設けられた第 4 コイルと、を有し、

前記第 3 コイル部は、前記第 2 構造体の前記第 3 部分に設けられた第 5 コイルと、前記第 4 部分に設けられた第 6 コイルと、を有し、

前記第 4 コイル部は、前記第 2 構造体の前記第 3 部分に設けられた第 7 コイルと、前記第 4 部分に設けられた第 8 コイルと、を有する請求項 9 記載の荷電粒子ビーム照射装置。

【請求項 13】

前記第 2 コイルは前記第 1 コイルよりも巻き線数が多く、前記第 4 コイルは前記第 3 コイルよりも巻き線数が多く、前記第 6 コイルは前記第 5 コイルよりも巻き線数が多く、前記第 8 コイルは前記第 7 コイルよりも巻き線数が多い請求項 1 2 記載の荷電粒子ビーム照射装置。

【請求項 1 4】

前記第 1 走査電磁石部および前記第 2 走査電磁石部の外側に設けられた中空形状のヨークを更に備えた請求項 8 乃至 1 3 のいずれかに記載の荷電粒子ビーム照射装置。

【請求項 1 5】

前記ヨークは、前記第 1 走査電磁石部および前記第 2 走査電磁石部のうちの口径大きな方の電磁石部の外形に沿って形状の口径を有する請求項 1 4 記載の荷電粒子ビーム照射装置。

10

【請求項 1 6】

前記ヨークは、前記荷電粒子ビームの出射側における厚さが、前記荷電粒子ビームの入射側における厚さよりも薄い請求項 1 4 または 1 5 記載の荷電粒子ビーム照射装置。

【請求項 1 7】

前記ヨークは、前記第 1 方向に沿って鉄板が積層された構造を有している請求項 1 4 乃至 1 6 のいずれかに記載の荷電粒子ビーム照射装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

20

本発明の実施形態は、荷電粒子ビーム照射装置に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

癌などの患者の患部に重粒子線等の荷電粒子ビームを照射する荷電粒子ビーム照射装置が知られている。この荷電粒子ビーム照射装置は、ビーム発生装置で生成された荷電粒子ビームをビーム加速装置で加速し、ビーム輸送装置を経て治療室内のビーム照射装置によって患部に照射する装置である。このビーム照射装置は照射目標である患部の立体形状に合わせて照射する装置である。このビーム照射装置においては、2 組の走査電磁石、例えば一組みの水平方向走査電磁石および一組の垂直方向走査電磁石を直列に配置することにより、荷電粒子ビームを直交する 2 方向に走査する。

30

【0 0 0 3】

様々な部位および大きさの異なる癌部に照射するため、照射可能な領域(照射野)は広く確保することが望ましい。照射野を広くする方式は大きく分けて二通りある。1 つは、直列配置された 2 組の走査電磁石の位置と、荷電粒子ビームが照射される患者の位置とを大きく離す方式、もう 1 つは 2 組の走査電磁石の出力する磁場強度を上げるか、または軸長を延長する方式である。

【0 0 0 4】

広い照射野を確保するために、直列に配置された 2 組の走査電磁石と患者の位置とを大きく離れた場合、荷電粒子ビーム照射装置の設置に必要な空間が大きくなってしまい、これらの装置を収納する建屋等が大きくなる。

40

【0 0 0 5】

一方、走査電磁石が出力する磁場強度を上げるか軸長を延長した場合、ビーム進行方向下流の走査電磁石による磁場発生効率が低下し、十分な照射野を確保することができなくなってしまう。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 6】

【特許文献 1】特開 2 0 1 0 - 1 2 5 0 1 2 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【 0 0 0 7 】

本実施形態は、大型化を抑制することができるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

本実施形態による荷電粒子ビーム照射装置は、荷電粒子ビームが入射する第 1 方向に実質的に直交する第 2 方向に前記荷電粒子ビームを偏向する第 1 走査電磁石部と、前記第 1 方向および前記第 2 方向に実質的に直交する第 3 方向に前記荷電粒子ビームを偏向する第 2 走査電磁石部と、を備え、前記第 1 および第 2 走査電磁石部は、前記第 1 方向に対して並列に配置される。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

【図 1】第 1 実施形態による荷電粒子ビーム照射装置を示す図。

【図 2】第 1 実施形態に用いられる走査電磁石を説明する図。

【図 3】図 3 (a) 乃至 3 (c) は、第 1 実施形態の垂直走査電磁石を説明する図。

【図 4】図 4 (a) 乃至 4 (c) は、第 1 実施形態の水平走査電磁石を説明する図。

【図 5】図 5 (a) 乃至 5 (c) は、第 1 実施形態の変形例による走査電磁石を説明する図。

【図 6】第 2 実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石を示す図。

【図 7】第 3 実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石を示す図。

20

【図 8】第 3 実施形態の垂直走査電磁石を説明する図。

【図 9】第 4 実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石を示す図。

【図 10】第 4 実施形態の垂直走査電磁石を説明する図。

【図 11】第 4 実施形態の水平走査電磁石を説明する図。

【図 12】第 5 実施形態の垂直走査電磁石を説明する図。

【図 13】第 5 実施形態の水平走査電磁石を説明する図。

【図 14】第 6 実施形態の垂直走査電磁石を説明する図。

【図 15】第 6 実施形態の水平走査電磁石を説明する図。

【図 16】第 7 実施形態の垂直走査電磁石を説明する図。

【図 17】第 7 実施形態の水平走査電磁石を説明する図。

30

【図 18】第 8 実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石を示す図。

【図 19】第 8 実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石の上面図。

【図 20】第 8 実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石の断面図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

実施形態による荷電粒子ビーム照射装置について図面を参照して説明する。

【 0 0 1 1 】

(第 1 実施形態)

第 1 実施形態による荷電粒子ビーム照射装置を図 1 に示す。本実施形態の荷電粒子ビーム照射装置 1 は、荷電粒子、例えば、負パイ中間子、陽子、ヘリウムイオン、炭素イオン、ネオンイオン、シリコンイオン、またはアルゴンイオンを治療照射用の粒子ビーム源とする照射装置 1 である。

40

【 0 0 1 2 】

荷電粒子ビーム照射装置 1 は、図 1 に示すように、ビーム発生装置 10、ビーム加速装置 20、ビーム輸送装置 30、ビーム照射装置 40、および照射制御装置 60 を備え、例えば患者の患部 90 に荷電粒子ビーム 104 を照射する。

【 0 0 1 3 】

ビーム発生装置 10 は、荷電粒子ビームを発生する。

【 0 0 1 4 】

ビーム加速装置 20 は、荷電粒子ビーム 104 を所定のエネルギーに加速する装置であ

50

る。この構成の一例として、前段加速装置と後段加速装置とで構成されることがある。例えば、前段加速装置として直線加速器、後段加速装置としてシンクロトロンで構成される例がある。構成要素としては、真空容器（配管）、高周波加速空洞、ビーム偏向装置（二極電磁石）、ビーム集束・発散装置（四極電磁石）、ビーム軌道補正装置（ステアリング電磁石）、入射装置、出射装置、および制御装置などがある。ビーム加速装置 20 の構成は任意とすることができるので、ここでは、詳述しない。加速器としてサイクロトロン等を選択しても構わない。

【0015】

ビーム輸送装置 30 は、加速された荷電粒子ビーム 104 を被照射物へと、すなわち照射治療室内の患者の患部 90 へ輸送する装置である。その構成要素としては、真空容器（配管）、ビーム偏向装置（二極電磁石）、ビーム集束・発散装置（四極電磁石）、ビーム軌道補正装置（ステアリング電磁石）、および制御装置などである。

10

【0016】

ビーム照射装置 40 は、ビーム輸送装置 30 の荷電粒子ビーム出口側に設けられ、ビーム輸送装置 30 を通過した特定エネルギーの荷電粒子ビーム 104 c が患者の患部 90 の設定された照射点 902 に正しく入射するように、荷電粒子ビーム 104 c の軌道を調節する。また、患部 90 における荷電粒子ビーム 104 c の照射位置および照射線量を監視する。このビーム照射装置 40 は、走査電磁石 401、走査電磁石電源 402、位置モニタ 403、線量計 404 および線量計回路 405 を有する。

20

【0017】

走査電磁石 401 は、励磁電流の制御を受け、荷電粒子ビーム 104 c の垂直方向の軌道調節を行う一対の垂直走査電磁石 401 a と、荷電粒子ビーム 104 c の水平方向の軌道調節を行う一対の水平走査電磁石 401 b と、を有する。走査電磁石電源 402 は電磁石電源 402 a、402 b を有している。電磁石電源 402 a は、走査電磁石 401 a に対して荷電粒子ビーム 104 c の走査に必要な励磁電流を供給する。電磁石電源 402 b は、走査電磁石 401 b に対して荷電粒子ビーム 104 c の走査に必要な励磁電流を供給する。一対の垂直走査電磁石 401 a および一対の水平走査電磁石 401 b については、後で詳細に説明する。

【0018】

位置モニタ 403 は、これを通過した荷電粒子ビーム 104 c の位置すなわち患者の患部 90 における荷電粒子ビームの入射位置の指標となる信号を出力し、照射制御装置 60 に送信する。なお、位置モニタ 403 としては、電離箱式などを用いることができる。

30

【0019】

線量計 404 は、これを通過した荷電粒子ビーム 104 c の強度或いは線量すなわち患者の患部 90 に照射された荷電粒子ビームの強度ないし線量に応じた電気信号を出力する。なお、線量計 404 としては、電離箱式などを用いることができる。

【0020】

線量計回路 405 は、線量計 404 から出力される電気信号を受信し、受け取った電気信号が予め設定された積算出力値に到達したとき、患者の患部 90 に設定された照射点 902 の線量満了を示す線量満了信号を照射制御装置 60 に送信する。

40

【0021】

照射制御装置 60 は、患者の治療照射をどのように行うかを示す照射パターンデータを記録可能に構成され、この照射パターンデータを参照して荷電粒子ビーム照射装置 1 の全体制御を行う。なお、照射パターンデータは、治療照射の事前に行われる治療計画にて作成される最適照射情報を元にして作成される。

【0022】

この照射パターンデータには、患者の患部 90 を仮想的に切り分けた照射スライス 901 ごとに設定された照射点 902 の位置指標となる基準位置からみた水平方向の相対位置および垂直方向の相対位置、照射スライス 901 の位置指標すなわち体内深度の指標となる体内飛程、体内におけるビーム停止幅の指標となるビーム停止幅、各照射点 902 に照

50

射すべきビーム強度および設定線量から構成されるもので、ビーム発生装置 10、ビーム加速装置 20、ビーム輸送装置 30、およびビーム照射装置 40の一部あるいはすべての動作制御に必要な情報が収められる。なお、ビーム停止幅は、荷電粒子ビームのエネルギー幅に基づく体内飛程の差により生ずるものである。また、照射パターンデータの内容は適宜変更できる。

【0023】

照射制御装置 60は、ビーム集束制御部 601、エネルギー選択制御部 602および走査制御部 603を有する。

【0024】

走査制御部 603は、所定の照射点 902に対し荷電粒子ビーム 104cが入射するよう、走査電磁石電源 402の出力を制御し、走査電磁石 401に印加する励磁電流を調節する。

【0025】

(垂直走査電磁石および水平走査電磁石)

次に、垂直走査電磁石および水平走査電磁石について詳細に説明する。一对の垂直走査電磁石 401aおよび一对の水平走査電磁石 401bは、図2に示すように、荷電粒子ビーム 104cの進行に対して並列に配置されている。すなわち一对の垂直走査電磁石 401aは垂直方向に配置され、一对の水平走査電磁石 401bは、一对の垂直走査電磁石 401aが配置された位置と同じ位置でかつ水平方向に配置される。そして、一对の垂直走査電磁石 401aおよび一对の水平走査電磁石 401bは、直交する2方向、すなわち垂直方向および水平方向の走査を同時に行うように配置されている。

【0026】

一对の垂直走査電磁石 401aの詳細について図3(a)乃至3(c)を参照して説明する。図3(a)是一对の垂直走査電磁石 401aの上面図を示し、図3(b)是一对の垂直走査電磁石 401aの側面図を示し、図3(c)は、図3(b)に示す切断面 A-Aで切断した断面図を示す。

【0027】

一对の垂直走査電磁石 401aは、中空形状の構造体 401a3と、この構造体 401a3の上側の表面に設けられたコイル部 401a1と、構造体 401a3の下側の表面に設けられたコイル部 401a2と、を備えている。構造体 401a3は、渦電流が生じない材料、例えば、非磁性金属、FRP(Fiber-Reinforced Plastic)等が用いられる。

【0028】

コイル部 401a1は、構造体 401a3の上側の表面に設けられサドル形状のコイル 401a1₁と、このコイル 401a1₁の外側に設けられたコイル 401a1₂と、このコイル 401a1₂の外側に設けられたコイル 401a1₃と、を備えている、なお、各コイル 401a1₁、401a1₂、401a1₃は絶縁材で被覆されている。

【0029】

コイル部 401a2は、構造体 401a3の下側の表面に設けられサドル形状のコイル 401a2₁と、このコイル 401a2₁の外側に設けられたコイル 401a2₂と、このコイル 401a2₂の外側に設けられたコイル 401a2₃と、を備えている、なお、各コイル 401a2₁、401a2₂、401a2₃は絶縁材で被覆されている。各コイル 401a1₁~401a1₃、401a2₁~401a2₃に励磁電流を流すことにより、垂直方向に磁場を発生する。なお、図3(a)乃至3(c)では、コイルは上側および下側にそれぞれ3個設けられていたが、それぞれ1個、2個、または4個以上設けてもよい。

なお、図3(c)において、符号 104cは荷電粒子ビームを示す。

【0030】

一对の水平走査電磁石 401bの詳細について図4(a)乃至4(c)を参照して説明する。図4(a)是一对の水平走査電磁石 401bの上面図を示し、図4(b)是一对の水平走査電磁石 401bの側面図を示し、図4(c)は、図4(b)に示す切断面 A-A

で切断した断面図を示す。

【0031】

一对の水平走査電磁石401bは、一对の垂直走査電磁石401aの外側に設けられた中空形状の構造体401b3と、この構造体401b3の一对の側面のうちの一方の側面に設けられたコイル部401b1と、構造体401b3の他方の側面に設けられたコイル部401b2と、を備えている。構造体401b3は、構造体401a3と同様に渦電流が生じない材料、例えば、非磁性金属、FRP(Fiber-Reinforced Plastic)等が用いられる。また、この時水平走査電磁石401bは垂直走査電磁石401aの内側に設けても良い。

【0032】

コイル部401b1は、構造体401a3の一方の側面に設けられサドル形状のコイル401b1₁と、このコイル401b1₁の外側に設けられたコイル401b1₂と、このコイル401b1₂の外側に設けられたコイル401b1₃と、を備えている、なお、各コイル401b1₁、401b1₂、401b1₃は絶縁材で被覆されている。

【0033】

コイル部401b2は、構造体401a3の他方の側面に設けられサドル形状のコイル401b2₁と、このコイル401b2₁の外側に設けられたコイル401b2₂と、このコイル401b2₂の外側に設けられたコイル401b2₃と、を備えている、なお、各コイル401b2₁、401b2₂、401b2₃は絶縁材で被覆されている。各コイル401b1₁~401b1₃、401b2₁~401b2₃に励磁電流を流すことにより、水平方向に磁場を発生する。なお、図4(a)乃至4(c)では、コイルは一对の側面にそれぞれ3個設けられていたが、1個、2個、または4個以上設けてもよい。なお、図4(c)において、符号104cは荷電粒子ビームを示す。

【0034】

なお、本実施形態においては、図5(a)乃至5(c)に示すように、水平走査電磁石401bの外側にヨーク401cを設けることが好ましい。図5(a)は走査電磁石401からヨーク401cを除いた上面図を示し、図5(b)は走査電磁石401からヨーク401cを除いた側面図を示し、図5(c)は、図5(b)に示す切断面A-Aで切断した断面図を示す。このように、ヨーク401cを設けることにより、外部に磁場が漏れるのを抑制することができる。なお、図5(c)において、符号104cは荷電粒子ビームを示す。

【0035】

(荷電粒子ビーム照射装置1の動作)

次に、荷電粒子ビーム照射装置1の動作を説明する。

【0036】

以下の動作説明は、いわゆるスポットスキャンニング照射法を用いて治療照射を行う例に基づくものである。スポットスキャンニング照射法は、すでに加速器駆動型の粒子線照射技術にあっては確立されており、治療効果が高いことが確認されている照射方法である。

【0037】

このスポットスキャンニング照射法は、患者の患部を仮想的に3次元格子点、すなわち、照射スライスおよびその照射スライスに設定される照射点に切り分け、患部の深さ方向(荷電粒子ビーム軸の方向)、患部の断面方向(荷電粒子ビーム軸と交わる方向)の各方向に荷電粒子ビームを走査する方法である。

【0038】

1つの照射点に照射された線量がその照射点に対する設定線量に到達したことを示す線量満了信号が生成されたタイミングで荷電粒子ビームの照射を一旦停止させる。その後、荷電粒子ビームを次の照射点ないし照射スライスへと走査して照射を再開する。この操作を繰り返すことにより患部全域の照射が行われる。

【0039】

例えば、ターゲットとしてスライス面901a~901cのそれぞれに照射スポット(

10

20

30

40

50

図ではスライス面 901a 上の照射点 902) があるとする。まず始めに設定照射スポットに応じて各機器の調整が行われる。スライス面の変更は、ビームのエネルギーを変えることでなされる。エネルギーが高いほど深い側 (図 1 の場合は、スライス面 901a) にビームが届き、エネルギーが低いほど浅い側 (図 1 の場合は、スライス面 901c) に移動する。ビームのエネルギー変更はビーム加速装置 20 で加速するビームのエネルギーを低減させることで行う方法や、ビーム加速装置 20 で加速したビームに対しビーム輸送装置 30 またはビーム照射装置 40 で適当なフィルターを掛けることで行ってもよい。

【0040】

荷電粒子ビームのエネルギー選択に応じて、ビーム輸送装置 30 を構成する電磁石の励磁量も調節される。これにより、患者の患部 90 に到達する荷電粒子ビームの必要な強度が確保される。

10

【0041】

そして、ビーム照射装置 40 における走査電磁石 401 の励磁電流が調節され、所定のエネルギーの荷電粒子ビームが照射点 (たとえば照射点 902a) に正しく入射するように設定される。

【0042】

以上のようにして、各構成装置が調節された後、照射制御装置 60 の制御を受けて、ビーム発生装置 10 から荷電粒子ビーム 104 が射出される。

【0043】

ビーム発生装置 10 から射出された荷電粒子ビーム 104 は、ビーム加速装置 20 による加速を受けた後、ビーム輸送装置 30 に案内される。このビーム輸送装置 30 では、荷電粒子ビーム 104 は例えばビーム偏向装置 (図示せず) により形成される磁場に入射して運動量に応じて軌道を偏向することによって安定的にビーム照射装置 40 に案内される。ビーム照射装置 40 では、荷電粒子ビーム 104c が走査電磁石 401 により形成される磁場に入射して水平方向および垂直方向の軌道が調節され、各スライス面上の照射点 (照射スライス 901a の例では、設定された照射点 902a) に向かって進み、照射点 902a の治療照射が行われる。

20

【0044】

このとき、照射制御装置 60 により、位置モニタ 403 の出力信号に基づいて軌道調節された荷電粒子ビーム 104c が照射点 902a に正しく入射しているか否かが監視される。

30

【0045】

この照射点 902a に対する荷電粒子ビームの照射は、線量計回路 405 から線量満了信号が出力されるまで継続して行われる。線量満了信号が出力され照射制御装置 60 に入力されたときは、次の照射点 (例えば照射点 902b) の照射に移行する。すなわち、照射制御装置 60 により照射パターンデータが参照され、次の照射点 902b に荷電粒子ビームが入射するように走査電磁石 401 の励磁電流が調節され、再び照射制御装置 60 に線量満了信号が入力されるまで、照射点 902b に対し荷電粒子ビームの照射が継続して行われる。このような操作が順次繰り返されることで、照射スライス 901a に設定された全ての照射点 902 に対する照射が行われる。

40

【0046】

照射スライス 901a の照射が完了したときは、次の照射スライス 901b の照射に移行する。すなわち、照射制御装置 60 により照射パターンデータが参照され、照射スライス 901b の位置で荷電粒子ビームが停止するようにビーム加速装置 20 の調節が行われ、この照射スライス 901b の各照射点 (図示省略) に荷電粒子ビームが入射するようにビーム照射装置 40 の調節が行われる。このような操作が順次繰り返されていき、最浅の照射スライス 901c の照射へと移行する。

【0047】

次に、本実施形態の荷電粒子ビーム照射装置 1 の作用を説明する。

【0048】

50

様々な部位および大きさの異なる癌部に照射するため、照射野は広く確保することが望ましい。照射野を大きくする方式は大きく分けて二通りある。1つは、直列配置された2組の走査電磁石の位置と、荷電粒子ビームが照射される患者の位置とを大きく離す方式、もう1つは2組の走査電磁石の出力する磁場強度を上げるか、または軸長を延長する方式である。

【0049】

広い照射野を確保するために、直列に配置された2組の走査電磁石と患者の位置とを大きく離した場合、荷電粒子ビーム照射装置の設置に必要な空間が大きくなってしまい、これらの装置を収納する建屋等が大きくなる。一方、走査電磁石が出力する磁場強度を上げるか軸長を延長した場合、ビーム進行方向下流の走査電磁石による磁場発生効率が低下し、十分な照射野を確保することができなくなってしまう。

10

【0050】

そこで本発明者は、ビーム照射装置40として、並列に配置された一对の垂直走査電磁石401aおよび一对の水平走査電磁石401bを用いることにより、荷電粒子ビーム照射装置が荷電粒子ビームの進行方向に長くなることを抑制することができるとともに、口径の増加を必要最小限に抑えることができる。これにより、大型化を抑制することが可能になるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供することができる。

【0051】

(第2実施形態)

20

第2実施形態による荷電粒子ビーム照射装置について図6を参照して説明する。図6は第2実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石401Aを示す図である。この第2実施形態の荷電粒子ビーム照射装置は、図1に示す第1実施形態の荷電粒子ビーム照射装置1において、走査電磁石401を図6に示す走査電磁石401Aに置き換えた構成を有している。

【0052】

この走査電磁石401Aは、図2に示す走査電磁石401を3段、荷電粒子ビーム104cの進行に対して直列に配置した構成を有している。すなわち、走査電磁石401Aは、荷電粒子ビーム104cの進行に対して並列に配置された一对の垂直走査電磁石401a₁および一对の水平走査電磁石401b₁と、これらの走査電磁石401a₁および401b₁の後段に設けられかつ並列に配置された一对の垂直走査電磁石401a₂および一对の水平走査電磁石401b₂と、これらの走査電磁石401a₂および401b₂の後段に設けられかつ並列に配置された一对の垂直走査電磁石401a₃および一对の水平走査電磁石401b₃と、を備えている。

30

【0053】

そして、後段の走査電磁石の口径は前段の走査電磁石の口径よりも大きい。すなわち、一对の垂直走査電磁石401a₂および一对の水平走査電磁石401b₂の口径は、一对の垂直走査電磁石401a₁および一对の水平走査電磁石401b₁の口径よりも大きく、一对の垂直走査電磁石401a₃および一对の水平走査電磁石401b₃の口径は、一对の垂直走査電磁石401a₂および一对の水平走査電磁石401b₂の口径よりも大きい。

40

【0054】

図2に示す走査電磁石を複数段直列に配置し、かつ後段の走査電磁石の口径は前段の走査電磁石の口径よりも大きいように構成することにより、第1実施形態と同様に、荷電粒子ビーム照射装置が荷電粒子ビームの進行方向に長くなることを抑制することができるとともに、口径の増加を必要最小限に抑えることができる。これにより、大型化を抑制することが可能になるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供することができる。

【0055】

(第3実施形態)

50

第3実施形態による荷電粒子ビーム照射装置について図7を参照して説明する。図7は第3実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石401Bを示す図である。この第3実施形態の荷電粒子ビーム照射装置は、図1に示す第1実施形態の荷電粒子ビーム照射装置1において、走査電磁石401を図7に示す走査電磁石401Bに置き換えた構成を有している。

【0056】

この走査電磁石401Bは、並列に配置された一对の垂直走査電磁石401aおよび一对の水平走査電磁石401bを備えている。一对の垂直走査電磁石401aおよび一对の水平走査電磁石401bは、荷電粒子ビーム104cの入射側から出射側に向かうにつれて口径が広がる形状を有している。なお、図7では、口径の広がる形状はビームの偏向に
10

【0057】

この第3実施形態における垂直走査電磁石401aの上側のコイル部401a1を図8に示す。この垂直走査電磁石401aは、荷電粒子ビーム104cの入射側から出射側に向かうにつれて口径が増加する中空形状を有する構造体401a3を備えている。上側のコイル部401a1は、構造体401a3の上側の表面に設けられている。

【0058】

上側のコイル部401a1は、構造体401a3の上側の表面に設けられたコイル401a1₁と、このコイル401a1₁の外側に設けられたコイル401a1₂と、このコ
20

【0059】

なお、図3(a)乃至図3(c)に示した場合と同様に、垂直走査電磁石401aは、構造体401a3の下側の表面に設けられた下側のコイル部(図示せず)を備えており。この下側のコイル部も上側のコイル部401a1と同様に、複数のコイルを有し、これらのコイルは構造体の下側の表面に設けられる。なお、図8では、コイル是一对の側面にそれぞれ3個設けられていたが、1個、2個、または4個以上設けてもよい。

【0060】

そして、図4(a)乃至4(c)に示した場合と同様に、垂直走査電磁石401aの外側または内側に、水平走査電磁石のコイル部が設けられる。
30

【0061】

このように構成された第3実施形態も第1実施形態と同様に、荷電粒子ビーム照射装置が荷電粒子ビームの進行方向に長くなることを抑制することができるとともに、口径の増加を必要最小限に抑えることができる。これにより、大型化を抑制することが可能になるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供することができる。

【0062】

(第4実施形態)

第4実施形態による荷電粒子ビーム照射装置について図9を参照して説明する。図9は第4実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石401Cを示す図である
40

【0063】

この走査電磁石401Cは、第1走査電磁石部401C₁と、この第1走査電磁石部401C₁の後段に設けられた第2走査電磁石部401C₂と、を備えている。第1走査電磁石部401C₁は、この第1走査電磁石部401C₁に入射する荷電粒子ビーム104cに対して並列に配置された、一对の垂直走査電磁石410a₁および一对の水平走査電磁石410b₁を備え、口径が入射側から出射側まで実質的に一定であるかまたは線形に増大する構造である。すなわち、第1走査電磁石部401C₁においては、口径が入射側
50

から出射側に向かうにつれて変化率が実質的に0であるかまたは正の一定値であるように変化する構造を有している。ここで、口径の変化率とは、入射側から出射側に向かって距離 z 移動したときに口径が D 増大する場合に、比 D/z を意味する。

【0064】

第2走査電磁石部401C₂は、並列に配置された、一对の垂直走査電磁石410a₂および一对の水平走査電磁石410b₂を備え、口径が入射側から出射側に向かうにつれて第1走査電磁石部401C₁と異なる変化率で線形に増大するように構成されている。なお、第1走査電磁石部401C₁の出射側の口径と第2走査電磁石部401C₂の入射側の口径は実質的に等しい。

【0065】

この第4実施形態における垂直走査電磁石410a₁および垂直走査電磁石410a₂に関する構造体410a3およびこの構造体410a3の上側の表面に設けられた第1コイル部410a1の一具体例を図10に示す。構造体410a3は、第1部分410a3₁と、この第1部分410a3₁に接続する第2部分410a3₂とを備えている。第1コイル部410a1は、垂直走査電磁石410a₁および垂直走査電磁石410a₂を一体のコイルで形成した構成を有している。

【0066】

この第1コイル部410a1は、構造体410a3の上側の表面に設けられたコイル410a1₁と、このコイル410a1₁の外側に設けられたコイル410a1₂と、このコイル410a1₂の外側に設けられたコイル410a1₃と、を備えている。なお、第1実施形態と同様に、各コイル410a1₁、410a1₂、410a1₃は、それぞれ絶縁材で被覆されている。各コイル410a1₁、410a1₂、410a1₃に、図1に示す電磁石電源402aを用いて励磁電流を流すことにより、垂直方向に磁場を発生する。なお、図10では、コイルは構造体410a3の上側の表面に3個設けられていたが、1個、2個、または4個以上設けてもよい。

【0067】

第1部分410a3₁は、図3(a)、3(b)、3(c)に示す第1実施形態における構造体401a3と同様に、中空形状を有している。第2部分410a3₂は、口径が入射側から出射側に向かうにつれて線形に増加するチューブ形状を有している。第1部分410a3₁の出射側の口径は第2部分410a3₂の入射側の口径と実質的に等しい。コイル410a1₁、410a1₂、410a1₃は、第1部分410a3₁および第2部分410a3₂に渡って形成される。

【0068】

なお、垂直走査電磁石410a₁および垂直走査電磁石410a₂のそれぞれの対となる第2コイル部(図示せず)は、図3(a)、3(b)、3(c)に示す第1実施形態と同様に、第1部分410a3₁および第2部分410a3₂の下側の表面に設けられる。この第2コイル部も、図10に示す第1コイル部410a1と同様に、3つのコイルから構成される。図3(a)、3(b)、3(c)に示す第1実施形態と同様に、第2コイル部の各コイルは、第1コイル部410a1の各コイル410a1₁、410a1₂、410a1₃と同じサイズでかつ第1部分410a3₁および第2部分410a3₂の中心軸に対して、第1コイル部410a1の各コイル410a1₁、410a1₂、410a1₃と対称の位置に形成される。

【0069】

また、第4実施形態における水平走査電磁石410b₁および水平走査電磁石410b₂は、図11に示すように、構造体410b3と、この構造体410b3の一方の側面に設けられた第1コイル部410b1と、他方の側面に設けられた第2コイル部(図示せず)と、を有している。

【0070】

構造体410b3は、垂直走査電磁石410a₁および垂直走査電磁石410a₂の外側に設けられ、第1部分410b1₁と、この第1部分410b1₁に接続する第2部分

10

20

30

40

50

4 1 0 b 1₂とを備えている。第 1 部分 4 1 0 a 3₁は、図 3 (a)、3 (b)、3 (c)に示す第 1 実施形態における構造体 4 0 1 a 3と同様に、中空形状を有している。第 2 部分 4 1 0 a 3₂は、口径が入射側から出射側に向かうに連れて線形に増加するチューブ形状を有している。第 1 部分 4 1 0 a 3₁の出射側の口径は第 2 部分 4 1 0 a 3₂の入射側の口径と実質的に等しい。なお、水平走査電磁石 4 1 0 b₁、4 1 0 b₂は、垂直走査電磁石 4 1 0 a₁、4 1 0 a₂の内側に設けてもよい。

【 0 0 7 1 】

第 1 コイル部 4 1 0 b 1は、構造体 4 1 0 b 3の一方の側面に設けられたコイル 4 1 0 b 1₁と、このコイル 4 1 0 b 1₁の外側に設けられたコイル 4 1 0 b 1₂と、このコイル 4 1 0 b 1₂の外側に設けられたコイル 4 1 0 b 1₃と、を備えている。コイル 4 1 0 b 1₁、4 1 0 b 1₂、4 1 0 b 1₃は、第 1 部分 4 1 0 b 3₁および第 2 部分 4 1 0 b 3₂に渡って形成される。なお、第 1 実施形態と同様に、各コイル 4 1 0 b 1₁、4 1 0 b 1₂、4 1 0 b 1₃は、それぞれ絶縁材で被覆されている。各コイル 4 1 0 b 1₁、4 1 0 b 1₂、4 1 0 b 1₃に、図 1 に示す電磁石電源 4 0 2 bを用いて励磁電流を流すことにより、水平方向に磁場を発生する。なお、図 1 1では、コイルは構造体の一方の側面にそれぞれ 3 個設けられていたが、1 個、2 個、または 4 個以上設けてもよい。

【 0 0 7 2 】

水平走査電磁石 4 1 0 b₁および水平走査電磁石 4 1 0 b₂の対となる第 2 コイル部 (図示せず) は、図 4 (a)、4 (b)、4 (c)に示す第 1 実施形態と同様に、第 1 部分 4 1 0 b 3₁および第 2 部分 4 1 0 b 3₂の他方の側面に設けられる。この第 2 コイル部も、図 1 1に示す第 1 コイル部 4 1 0 b 1と同様に、3 つのコイルから構成される。図 4 (a)、4 (b)、4 (c)に示す第 1 実施形態と同様に、第 2 コイル部の各コイルは、第 1 コイル部 4 1 0 b 1の各コイル 4 1 0 b 1₁、4 1 0 b 1₂、4 1 0 b 1₃と実質的に同じサイズでかつ第 1 部分 4 1 0 b 3₁および第 2 部分 4 1 0 b 3₂の中心軸に対して、第 1 コイル部 4 1 0 b 1の各コイル 4 1 0 b 1₁、4 1 0 b 1₂、4 1 0 b 1₃と対称の位置に形成される。

【 0 0 7 3 】

図 9 に示す第 4 実施形態のように、走査電磁石 4 0 1 C は、荷電粒子ビーム 1 0 4 c に対して並列に配置された一对の垂直走査電磁石 4 1 0 a₁および一对の水平走査電磁石 4 1 0 b₁と、これらの走査電磁石 4 1 0 a₁および 4 1 0 b₁の後段に設けられかつ並列に配置された一对の垂直走査電磁石 4 1 0 a₂および一对の水平走査電磁石 4 1 0 b₂と、を備え、これらの走査電磁石 4 1 0 a₂および 4 1 0 b₂は口径が入射側から出射側に向かうにつれて線形に増大するように構成されているので、第 1 実施形態と同様に、荷電粒子ビーム照射装置が荷電粒子ビームの進行方向に長くなることを抑制することができるとともに、口径の増加を必要最小限に抑えることができる。これにより、大型化を抑制することが可能になるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供することができる。

なお、第 4 実施形態では、走査電磁石 4 0 1 C は、第 1 走査電磁石部 4 0 1 C₁と、この第 1 走査電磁石部 4 0 1 C₁の後段に設けられた第 2 走査電磁石部 4 0 1 C₂と、からなる 2 段構造を有していたが、3 段以上の構造を有していてもよい。例えば、第 1 走査電磁石部 4 0 1 C₁と、この第 1 走査電磁石部 4 0 1 C₁の後段に設けられた第 2 走査電磁石部 4 0 1 C₂と、この第 2 走査電磁石部 4 0 1 C₂の後段に設けられた第 3 走査電磁石と、からなる 3 段構造を有し、第 3 走査電磁石においては、入射側から出射側に向かうにつれて口径が前段の走査電磁石と異なる変化率で線形に増大する構造を有している。また、このような 3 段以上の構造は、後述する第 5 乃至第 8 実施形態においても適用することができる。

【 0 0 7 4 】

(第 5 実施形態)

第 5 実施形態による荷電粒子ビーム照射装置について図 1 2 および図 1 3 を参照して説明する。この第 5 実施形態の荷電粒子ビーム照射装置は、第 5 実施形態の荷電粒子ビーム

10

20

30

40

50

照射装置 1 において、図 9 に示す垂直走査電磁石 $410a_1$ 、 $410a_2$ のコイルをそれぞれの垂直走査電磁石に対応して設け、水平走査電磁石 $410b_1$ 、 $410b_2$ のコイルをそれぞれの水平走査電磁石に対応して設けた構成を有している。

【0075】

図 12 は、第 5 実施形態の垂直走査電磁石 $410a_1$ 、 $410a_2$ それぞれの、構造体 $410a_3$ の上側の表面に設けられた第 1 コイル部 $411a_{11}$ 、 $411a_{12}$ を示す図である。第 1 コイル部 $411a_{11}$ は、第 1 部分 $410a_{31}$ の上側の表面に設けられ、コイル $411a_{111}$ と、このコイル $411a_{111}$ の外側に設けられたコイル $411a_{112}$ と、このコイル $411a_{112}$ の外側に設けられたコイル $411a_{113}$ と、を備えている。第 1 コイル部 $411a_{12}$ は、第 2 部分 $410a_{32}$ の上側の表面に設けられ、コイル $411a_{121}$ と、このコイル $411a_{121}$ の外側に設けられたコイル $411a_{122}$ と、このコイル $411a_{122}$ の外側に設けられたコイル $411a_{123}$ と、を備えている。すなわち、第 5 実施形態の第 1 コイル部 $411a_{11}$ 、 $411a_{12}$ は、図 10 に示す第 1 コイル部 $410a_1$ を 2 つに分割した構成を有している。図 12 では、コイルは構造体の上側の表面にそれぞれ 3 個設けられていたが、1 個、2 個、または 4 個以上設けてもよい。

【0076】

なお、これらの第 1 コイル部 $411a_{11}$ 、 $411a_{12}$ のそれぞれと対になる第 2 コイル部（図示せず）はそれぞれ、図 3（a）、3（b）、3（c）に示す第 1 実施形態と同様に、第 1 部分 $410a_{31}$ および第 2 部分 $410a_{32}$ の下側の表面に設けられる。この第 2 コイル部もそれぞれ、図 12 に示す第 1 コイル部 $411a_{11}$ 、 $411a_{12}$ と同様に、3 つのコイルから構成される。図 3（a）、3（b）、3（c）に示す第 1 実施形態と同様に、第 1 部分 $410a_{31}$ の下側の表面に形成された第 2 コイル部の各コイルは、第 1 コイル部 $411a_{11}$ の各コイル $411a_{111}$ 、 $411a_{112}$ 、 $411a_{113}$ と同じサイズでかつ第 1 部分 $410a_{31}$ の中心軸に対して、第 1 コイル部 $411a_{11}$ の各コイル $411a_{111}$ 、 $411a_{112}$ 、 $411a_{113}$ と対称の位置に形成される。また、第 2 部分 $410a_{32}$ の下側の表面に形成された第 2 コイル部の各コイルは、第 1 コイル部 $411a_{12}$ の各コイル $411a_{121}$ 、 $411a_{122}$ 、 $411a_{123}$ と同じサイズでかつ第 2 部分 $410a_{32}$ の中心軸に対して、第 1 コイル部 $411a_{12}$ の各コイル $411a_{121}$ 、 $411a_{122}$ 、 $411a_{123}$ と対称の位置に形成される。

【0077】

図 13 は、第 5 実施形態の水平走査電磁石 $410b_1$ 、 $410b_2$ それぞれの、構造体 $410b_3$ の一方の側面に設けられた第 1 コイル部 $411b_{11}$ 、 $411b_{12}$ を示す図である。第 1 コイル部 $411b_{11}$ は、第 1 部分 $410b_{31}$ の一方の側面に設けられ、コイル $411b_{111}$ と、このコイル $411b_{111}$ の外側に設けられたコイル $411b_{112}$ と、このコイル $411b_{112}$ の外側に設けられたコイル $411b_{113}$ と、を備えている。第 1 コイル部 $411b_{12}$ は、第 2 部分 $410b_{32}$ の一方の側面に設けられ、コイル $411b_{121}$ と、このコイル $411b_{121}$ の外側に設けられたコイル $411b_{122}$ と、このコイル $411b_{122}$ の外側に設けられたコイル $411b_{123}$ と、を備えている。すなわち、第 5 実施形態の第 1 コイル部 $411b_{11}$ 、 $411b_{12}$ は、図 11 に示す第 1 コイル部 $410b_1$ を 2 つに分割した構成を有している。図 13 では、コイルは構造体の一方の側面にそれぞれ 3 個設けられていたが、1 個、2 個、または 4 個以上設けてもよい。

【0078】

なお、これらの第 1 コイル部 $411b_{11}$ 、 $411b_{12}$ のそれぞれと対になる第 2 コイル部（図示せず）はそれぞれ、図 4（a）、4（b）、4（c）に示す第 1 実施形態と同様に、第 1 部分 $410b_{31}$ および第 2 部分 $410b_{32}$ の他方の側面に設けられる。この第 2 コイル部もそれぞれ、図 13 に示す第 1 コイル部 $411b_{11}$ 、 $411b_{12}$ と同様に、3 つのコイルから構成される。図 4（a）、4（b）、4（c）に示す第 1 実施

形態と同様に、第 1 部分 4 1 0 b 3₁ の他方の側面に形成された第 2 コイル部の各コイルは、第 1 コイル部 4 1 1 b 1₁ の各コイル 4 1 1 b 1₁₁、4 1 1 b 1₁₂、4 1 1 b 1₁₃ と同じサイズでかつ第 1 部分 4 1 0 b 3₁ の中心軸に対して、第 1 コイル部 4 1 1 b 1₁ の各コイル 4 1 1 b 1₁₁、4 1 1 b 1₁₂、4 1 1 b 1₁₃ と対称の位置に形成される。また、第 2 部分 4 1 0 b 3₂ の他方の側面に形成された第 2 コイル部の各コイルは、第 1 コイル部 4 1 1 b 1₂ の各コイル 4 1 1 b 1₂₁、4 1 1 b 1₂₂、4 1 1 b 1₂₃ と同じサイズでかつ第 2 部分 4 1 0 b 3₂ の中心軸に対して、第 1 コイル部 4 1 1 b 1₂ の各コイル 4 1 1 b 1₂₁、4 1 1 b 1₂₂、4 1 1 b 1₂₃ と対称の位置に形成される。

【0079】

このように構成された第 5 実施形態においては、一对の垂直走査電磁石 4 1 0 a₁ と、一对の垂直走査電磁石 4 1 0 a₂ の励磁電流の強さを変えることが可能となるとともに、一对の水平走査電磁石 4 1 0 b₁ と、一对の水平走査電磁石 4 1 0 b₂ の励磁電流の強さを変えることが可能となる。これにより、口径が入射側から出射側に向かって線形に増大する一对の垂直走査電磁石 4 1 0 a₂ および一对の水平走査電磁石 4 1 0 b₂ によって形成される磁場の強さを第 4 実施形態に比べて調整することができる。なお、この場合、一对の垂直走査電磁石 4 1 0 a₁ に励磁電流を供給する第 1 電磁石電源と、一对の垂直走査電磁石 4 1 0 a₂ に励磁電流を供給する第 2 電磁石電源を用意することが好ましく、一对の水平走査電磁石 4 1 0 b₁ に励磁電流を供給する第 3 電磁石電源と、一对の水平走査電磁石 4 1 0 b₂ に励磁電流を供給する第 4 電磁石電源を用意することが好ましい。

【0080】

この第 5 実施形態も第 4 実施形態と同様に、荷電粒子ビーム照射装置が荷電粒子ビームの進行方向に長くなることを抑制することができるとともに、口径の増加を必要最小限に抑えることができる。これにより、大型化を抑制することが可能になるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供することができる。

【0081】

(第 6 実施形態)

第 6 実施形態による荷電粒子ビーム照射装置について図 1 4 および図 1 5 を参照して説明する。この第 6 実施形態の荷電粒子ビーム照射装置は、第 5 実施形態の荷電粒子ビーム照射装置 1 において、一对の垂直走査電磁石 4 1 0 a₂ および一对の水平走査電磁石 4 1 0 b₂ の構成するコイルの巻き線数を、一对の垂直走査電磁石 4 1 0 a₁ および一对の水平走査電磁石 4 1 0 b₁ の構成するコイルの巻き線数よりも多くした構造を有している。

【0082】

図 1 4 は、第 6 実施形態の垂直走査電磁石 4 1 0 a₁、4 1 0 a₂ それぞれの、構造体 4 1 0 a₃ の上側の表面に設けられた第 1 コイル部 4 1 1 a 1₁、4 1 1 a 1₂ を示す図である。第 1 コイル部 4 1 1 a 1₁ は、第 1 部分 4 1 0 a 3₁ の上側の表面に設けられ、コイル 4 1 1 a 1₁₁ と、このコイル 4 1 1 a 1₁₁ の外側に設けられたコイル 4 1 1 a 1₁₂ と、このコイル 4 1 1 a 1₁₂ の外側に設けられたコイル 4 1 1 a 1₁₃ と、を備えている。第 1 コイル部 4 1 1 a 1₂ は、第 2 部分 4 1 0 a 3₂ の上側の表面に設けられ、コイル 4 1 1 a 1₂₁ と、このコイル 4 1 1 a 1₂₁ の外側に設けられたコイル 4 1 1 a 1₂₂ と、このコイル 4 1 1 a 1₂₂ の外側に設けられたコイル 4 1 1 a 1₂₃ と、このコイル 4 1 1 a 1₂₃ の外側に設けられたコイル 4 1 1 a 1₂₄ と、このコイル 4 1 1 a 1₂₄ の外側に設けられたコイル 4 1 1 a 1₂₅ と、を備えている。図 1 4 では、第 1 コイル部 4 1 1 a 1₁ は第 1 部分 4 1 0 a 3₁ の上側の表面に 3 個のコイルが設けられていたが、1 個、2 個、または 4 個以上設けてもよい。また、第 1 コイル部 4 1 1 a 1₂ は第 2 部分 4 1 0 a 3₂ の上側の表面に 5 のコイルが個設けられていたが、第 1 コイル部 4 1 1 a 1₁ よりも多くのコイルを設ければよい。

【0083】

これらの第 1 コイル部 4 1 1 a 1₁、4 1 1 a 1₂ のそれぞれと対になる第 2 コイル部 (図示せず) はそれぞれ、図 3 (a)、3 (b)、3 (c) に示す第 1 実施形態と同様に

、第1部分410a3₁および第2部分410a3₂の下側の表面に設けられる。この第2コイル部もそれぞれ、図14に示す第1コイル部411a1₁および第1コイル部411a1₂と同様にそれぞれ、3つおよび5つのコイルから構成される。図3(a)、3(b)、3(c)に示す第1実施形態と同様に、第1部分410a3₁の下側の表面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部411a1₁の各コイル411a1₁₁、411a1₁₂、411a1₁₃と同じサイズでかつ第1部分410a3₁の中心軸に対して、第1コイル部411a1₁の各コイル411a1₁₁、411a1₁₂、411a1₁₃と対称の位置に形成される。また、第2部分410a3₂の下側の表面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部411a1₂の各コイル411a1₂₁、411a1₂₂、411a1₂₃、411a1₂₄、411a1₂₅と、同じサイズでかつ第2部分410a3₂の中心軸に対して、第1コイル部411a1₂の各コイル411a1₂₁、411a1₂₂、411a1₂₃、411a1₂₄、411a1₂₅と対称の位置に形成される。

【0084】

図15は、第6実施形態の水平走査電磁石410b₁、410b₂それぞれの、構造体410b3の一方の側面に設けられた第1コイル部411b1₁、411b1₂を示す図である。第1コイル部411b1₁は、第1部分410b3₁の一方の側面に設けられ、コイル411b1₁₁と、このコイル411b1₁₁の外側に設けられたコイル411b1₁₂と、このコイル411b1₁₂の外側に設けられたコイル411b1₁₃と、を備えている。第1コイル部411b1₂は、第2部分410b3₂の一方の側面に設けられ、コイル411b1₂₁と、このコイル411b1₂₁の外側に設けられたコイル411b1₂₂と、このコイル411b1₂₂の外側に設けられたコイル411b1₂₃と、このコイル411b1₂₃の外側に設けられたコイル411b1₂₄と、このコイル411b1₂₄の外側に設けられたコイル411b1₂₅と、を備えている。図15では、第1コイル部411b1₁は第1部分410b3₁の一方の側面に3個設けられていたが、1個、2個、または4個以上設けてもよい。また、第1コイル部411b1₂は第2部分410b3₂の一方の側面に5個のコイルが設けられていたが、第1コイル部411b1₁よりも多くのコイルを設ければよい。

【0085】

なお、これらの第1コイル部411b1₁、411b1₂のそれぞれと対になる第2コイル部(図示せず)はそれぞれ、図4(a)、4(b)、4(c)に示す第1実施形態と同様に、第1部分410b3₁および第2部分410b3₂の他方の側面に設けられる。この第2コイル部もそれぞれ、図15に示す第1コイル部411b1₁および第1コイル部411b1₂と同様にそれぞれ、3つおよび5つのコイルから構成される。図3(a)、3(b)、3(c)に示す第1実施形態と同様に、第1部分410a3₁の他方の側面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部411b1₁の各コイル411b1₁₁、411b1₁₂、411b1₁₃と同じサイズでかつ第1部分410b3₁の中心軸に対して、第1コイル部411b1₁の各コイル411b1₁₁、411b1₁₂、411b1₁₃と対称の位置に形成される。また、第2部分410b3₂の他方の側面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部411b1₂の各コイル411b1₂₁、411b1₂₂、411b1₂₃、411b1₂₄、411b1₂₅と同じサイズでかつ第2部分410b3₂の中心軸に対して、第1コイル部411b1₂の各コイル411b1₂₁、411b1₂₂、411b1₂₃、411b1₂₄、411b1₂₅と対称の位置に形成される。

【0086】

このように構成された第6実施形態においては、一对の垂直走査電磁石410a₁と、一对の垂直走査電磁石410a₂では、コイルの巻き線数を変えたので、一对の垂直走査電磁石410a₁と一对の垂直走査電磁石410a₂に同じ励磁電流を流しても、一对の垂直走査電磁石410a₂によって形成される磁場を一对の垂直走査電磁石410a₁によって形成される磁場よりも強くすることができる。すなわち、一对の垂直走査電磁石4

10

20

30

40

50

10 a₁ と一対の垂直走査電磁石 410 a₂ に対して同じ電磁石電源を用いて励磁電流を供給することができる。

【0087】

また、一対の水平走査電磁石 410 b₁ と、一対の水平走査電磁石 410 b₂ では、コイルの巻き線数を変えたので、一対の水平走査電磁石 410 b₁ と一対の水平走査電磁石 410 b₂ に同じ励磁電流を流しても、一対の水平走査電磁石 410 b₂ によって形成される磁場を一対の水平走査電磁石 410 b₁ によって形成される磁場よりも強くすることができる。すなわち、一対の水平走査電磁石 410 b₁ と一対の水平走査電磁石 410 b₂ に対して同じ電磁石電源を用いて励磁電流を供給することができる。

【0088】

この第6実施形態も第5実施形態と同様に、荷電粒子ビーム照射装置が荷電粒子ビームの進行方向に長くなることを抑制することができるとともに、口径の増加を必要最小限に抑えることができる。これにより、大型化を抑制することが可能になるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供することができる。

【0089】

(第7実施形態)

第7実施形態による荷電粒子ビーム照射装置について図16および図17を参照して説明する。この第7実施形態の荷電粒子ビーム照射装置は、第4実施形態の荷電粒子ビーム照射装置1において、一対の垂直走査電磁石 410 a₂ および一対の水平走査電磁石 410 b₂ の構成するコイルの巻き線数を、一対の垂直走査電磁石 410 a₁ および一対の水平走査電磁石 410 b₁ の構成するコイルの巻き線数よりも多くした構造を有している。

【0090】

図16は、第7実施形態の垂直走査電磁石 410 a₁、410 a₂ それぞれの、構造体 410 a₃ の上側の表面に設けられた第1コイル部 411 a₁₁、411 a₁₂ を示す図である。第1コイル部 411 a₁₂ は、第2部分 410 a₃₂ の上側の表面に設けられ、コイル 411 a₁₁ と、このコイル 411 a₁₁ の外側に設けられたコイル 411 a₁₂ と、このコイル 411 a₁₂ の外側に設けられたコイル 411 a₁₃ と、このコイル 411 a₁₃ の外側に設けられたコイル 411 a₁₄ と、このコイル 411 a₁₄ の外側に設けられたコイル 411 a₁₅ と、を備えている。なお、コイル 411 a₁₃、コイル 411 a₁₄、およびコイル 411 a₁₅ は、第1部分 410 a₃₁ の上側の表面に延在し、第1コイル部 411 a₁₁ を構成する。図16では、第1コイル部 411 a₁₁ は3個のコイルが設けられていたが、1個、2個、または4個以上設けてもよい。また、第1コイル部 411 a₁₂ は5個のコイルが設けられていたが、第1コイル部 411 a₁₁ よりも多くのコイルを設ければよい。

【0091】

これらの第1コイル部 411 a₁₁、411 a₁₂ のそれぞれと対になる第2コイル部 (図示せず) はそれぞれ、図3(a)、3(b)、3(c) に示す第1実施形態と同様に、第1部分 410 a₃₁ および第2部分 410 a₃₂ の下側の表面に設けられる。この第2コイル部もそれぞれ、図16に示す第1コイル部 411 a₁₁ および第1コイル部 411 a₁₂ と同様にそれぞれ、3つおよび5つのコイルから構成される。図3(a)、3(b)、3(c) に示す第1実施形態と同様に、第1部分 410 a₃₁ の下側の表面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部 411 a₁₁ の各コイル 411 a₁₃、411 a₁₄、411 a₁₅ と同じサイズでかつ第1部分 410 a₃₁ の中心軸に対して、第1コイル部 411 a₁₁ の各コイル 411 a₁₃、411 a₁₄、411 a₁₅ と対称の位置に形成される。また、第2部分 410 a₃₂ の下側の表面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部 411 a₁₂ の各コイル 411 a₁₁、411 a₁₂、411 a₁₃、411 a₁₄、411 a₁₅ と、同じサイズでかつ第2部分 410 a₃₂ の中心軸に対して、第1コイル部 411 a₁₂ の各コイル 411 a₁₁、411 a₁₂、411 a₁₃、411 a₁₄、411 a₁₅ と対称の位置に形成される。

【0092】

図 17 は、第 6 実施形態の水平走査電磁石 410b₁、410b₂ それぞれの、構造体 410b₃ の一方の側面に設けられた第 1 コイル部 411b₁₁、411b₁₂ を示す図である。第 1 コイル部 411b₁₂ は、第 2 部分 410b₃₂ の一方の側面に設けられ、コイル 411b₁₁₁ と、このコイル 411b₁₁₁ の外側に設けられたコイル 411b₁₁₂ と、このコイル 411b₁₁₂ の外側に設けられたコイル 411b₁₁₃ と、このコイル 411b₁₁₃ の外側に設けられたコイル 411b₁₁₄ と、このコイル 411b₁₁₄ の外側に設けられたコイル 411b₁₁₅ と、を備えている。なお、コイル 411b₁₁₃、コイル 411b₁₁₄、およびコイル 411a₁₁₅ は、第 1 部分 410b₃₁ の上側の表面に延在し、第 1 コイル部 411b₁₁ を構成する。図 17 では、第 1 コイル部 411b₁₁ は 3 個のコイルが設けられていたが、1 個、2 個、または 4 個以上設けてもよい。また、第 1 コイル部 411b₁₂ は 5 個のコイルが設けられていたが、第 1 コイル部 411b₁₁ よりも多くのコイルを設ければよい。

【0093】

これらの第 1 コイル部 411b₁₁、411b₁₂ のそれぞれと対になる第 2 コイル部（図示せず）はそれぞれ、図 4（a）、4（b）、4（c）に示す第 1 実施形態と同様に、第 1 部分 410b₃₁ および第 2 部分 410b₃₂ の他方の側面に設けられる。この第 2 コイル部もそれぞれ、図 16 に示す第 1 コイル部 411b₁₁ および第 1 コイル部 411b₁₂ と同様にそれぞれ、3 つおよび 5 つのコイルから構成される。図 4（a）、4（b）、4（c）に示す第 1 実施形態と同様に、第 1 部分 410b₃₁ の他方の側面に形成された第 2 コイル部の各コイルは、第 1 コイル部 411b₁₁ の各コイル 411b₁₃、411b₁₄、411b₁₅ と同じサイズでかつ第 1 部分 410b₃₁ の中心軸に対して、第 1 コイル部 411b₁₁ の各コイル 411b₁₃、411b₁₄、411b₁₅ と対称の位置に形成される。また、第 2 部分 410b₃₂ の下側の表面に形成された第 2 コイル部の各コイルは、第 1 コイル部 411b₁₂ の各コイル 411b₁₁、411b₁₂、411b₁₃、411b₁₄、411b₁₅ と、同じサイズでかつ第 2 部分 410a₃₂ の中心軸に対して、第 1 コイル部 411b₁₂ の各コイル 411b₁₁、411b₁₂、411b₁₃、411b₁₄、411b₁₅ と対称の位置に形成される。

【0094】

このように構成された第 7 実施形態においては、一对の垂直走査電磁石 410a₁ と、一对の垂直走査電磁石 410a₂ では、コイルの巻き線数を変えたので、一对の垂直走査電磁石 410a₁ と一对の垂直走査電磁石 410a₂ に同じ励磁電流を流しても、一对の垂直走査電磁石 410a₂ によって形成される磁場を一对の垂直走査電磁石 410a₁ によって形成される磁場よりも強くすることができる。すなわち、一对の垂直走査電磁石 410a₁ と一对の垂直走査電磁石 410a₂ に対して同じ電磁石電源を用いて励磁電流を供給することができる。

【0095】

また、一对の水平走査電磁石 410b₁ と、一对の水平走査電磁石 410b₂ では、コイルの巻き線数を変えたので、一对の水平走査電磁石 410b₁ と一对の水平走査電磁石 410b₂ に同じ励磁電流を流しても、一对の水平走査電磁石 410b₂ によって形成される磁場を一对の水平走査電磁石 410b₁ によって形成される磁場よりも強くすることができる。すなわち、一对の水平走査電磁石 410b₁ と一对の水平走査電磁石 410b₂ に対して同じ電磁石電源を用いて励磁電流を供給することができる。

【0096】

この第 7 実施形態も第 4 実施形態と同様に、荷電粒子ビーム照射装置が荷電粒子ビームの進行方向に長くなることを抑制することができるとともに、口径の増加を必要最小限に抑えることができる。これにより、大型化を抑制することが可能になるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供することができる。

【0097】

（第 8 実施形態）

第 8 実施形態による荷電粒子ビーム照射装置について図 18 を参照して説明する。図 1

8は第8実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石401Dを示す図である。この第8実施形態の荷電粒子ビーム照射装置は、図1に示す第1実施形態の荷電粒子ビーム照射装置1において、走査電磁石401を図9に示す走査電磁石401Dに置き換えた構成を有している。

【0098】

この第8実施形態の走査電磁石401Dは、第4乃至第7実施形態のいずれかの走査電磁石において、水平走査電磁石410b₁、410b₂の外側にヨーク401cを設けた構成を有している。なお、水平走査電磁石の口径が垂直走査電磁石の口径よりも小さい場合は、ヨーク401cは垂直走査電磁石の外側に設けられる。図18は、第4実施形態の水平走査電磁石410b₁、410b₂の外側にヨーク420を設けた場合の断面図である。

10

【0099】

本実施形態においては、ヨーク420は、内部の口径が、水平走査電磁石410b₁、410b₂の外形に沿った形状を有している。すなわち、水平走査電磁石410b₁に対応する部分の口径は実質的に一定であるかまたは線形に増大する構造であり、水平走査電磁石410b₂に対応する部分の口径は水平走査電磁石410b₁と異なる変化率で線形に増加する。また、ヨーク420の外径は実質的に一定である。このため、荷電粒子104cが出射される出射側では、入射側に比べてヨーク420の肉厚は薄くなっている。

【0100】

本実施形態の走査電磁石401Dの上面図および断面図を図19および図20に示す。この図19は、ヨーク420の一部分を切断した上面図である。ヨーク420は、垂直走査電磁石のコイル部410a1と長手方向の長さはほぼ同じ長さを有している。なお、図20において、符号104cは荷電粒子ビームを示す。

20

【0101】

ヨーク420は少なくとも2つ以上に分割される。一般的にはY方向またはX方向に2分割される。図20では、矢印で示すようにY方向に2分割される。ヨーク420の内周面の加工およびコイル組立が容易となる構造をしている。ヨーク420の内周面はコイル部410a1の外周面と接触するか近接する大きさであり、鉄などの磁性体で構成されることで磁場の強度を増大すると共に、漏れ磁場を低減している。

【0102】

本実施形態の走査電磁石401Dは交流で駆動するため、ヨーク420は、電磁鋼板などの薄い鉄板を長手方向に複数枚積層し樹脂で接着した構成を有している。これによりヨーク420の発熱や渦電流による誤差磁場を低減することができる。

30

【0103】

また、ヨーク420においては、上記の通りヨーク420の内周面はコイル部410a1の外周面と接触するか近接する大きさである。しかし、ヨーク420の外周面は外径一定としている。このような形状をヨーク420が有することで、口径が小さく磁場強度が強い位置ではヨーク420は肉厚に、口径が大きく磁場強度が弱い位置ではヨーク420は肉薄になり、ヨーク420の磁場強度を高める効果を効率的に得ると共に製作性の良いヨークを得ることができる。

40

【0104】

第8実施形態も第4実施形態と同様に、荷電粒子ビーム照射装置が荷電粒子ビームの進行方向に長くなることを抑制することができるとともに、口径の増加を必要最小限に抑えることができる。これにより、大型化を抑制することが可能になるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供することができる。更に、ヨーク420を設けたことにより、外部に磁場が漏れるのを抑制することができる。

【0105】

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。これらの実施形態は、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

50

、置き換え、変更を行うことができる。これらの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。

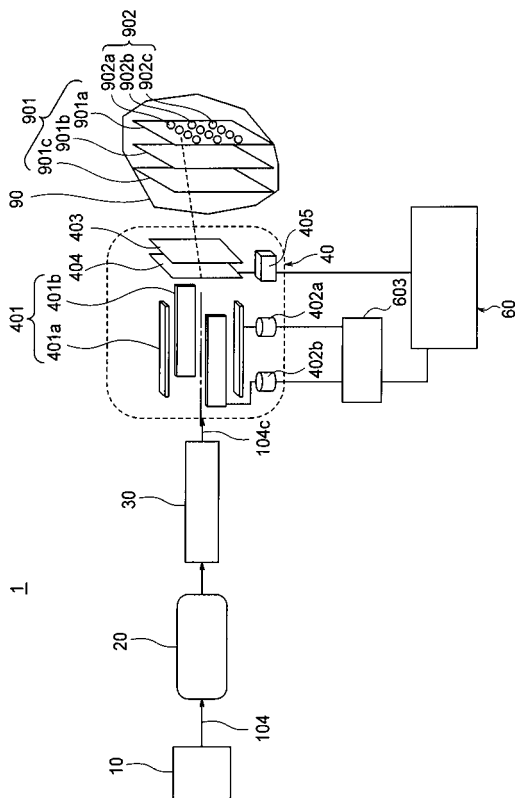
【符号の説明】

【 0 1 0 6 】

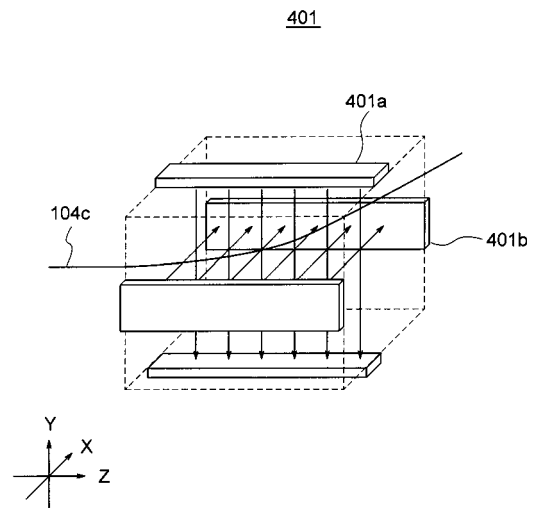
1 …… 荷電粒子ビーム照射装置、10 …… ビーム発生装置、104, 104c …… 荷電粒子ビーム、20 …… ビーム加速装置、30 …… ビーム輸送装置、40 …… ビーム照射装置、401 …… 走査電磁石、401a …… 垂直走査電磁石、401b …… 水平走査電磁石、402 (402a, 402b) …… 走査電磁石電源、403 …… 位置モニタ、404 …… 線量計、405 …… 線量計回路、60 …… 照射制御装置、603 …… 走査制御部、90 …… 患者の患部、901 (901a ~ 901c) …… 照射スライス、902 (902a ~ 902c) …… 照射点。

10

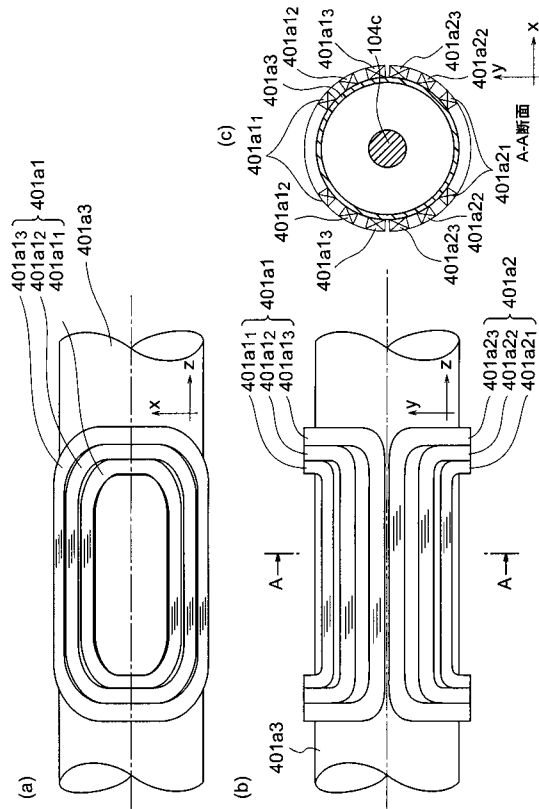
【 図 1 】



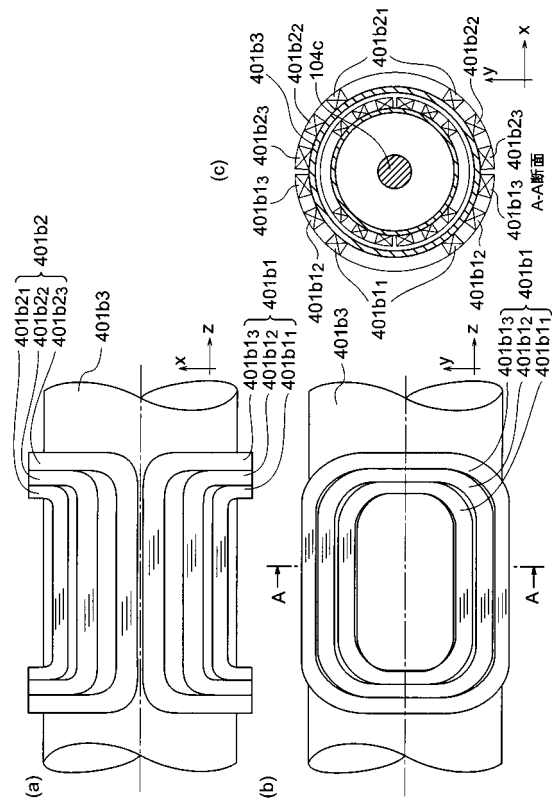
【 図 2 】



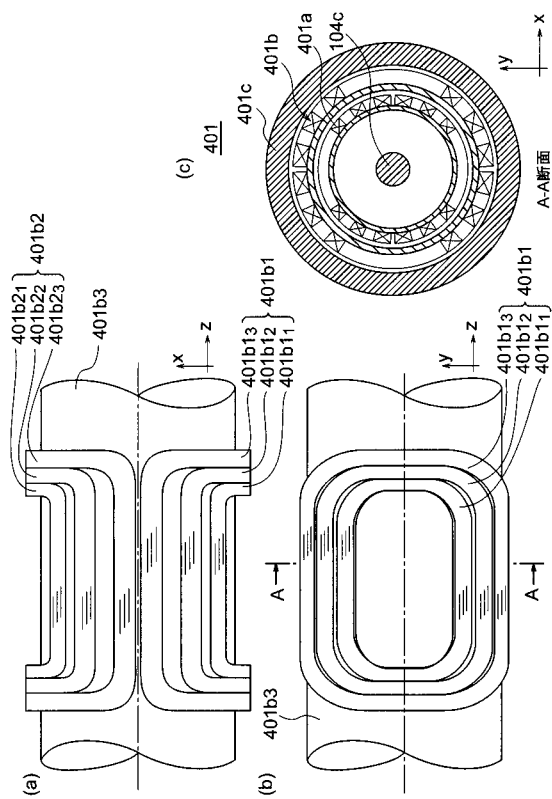
【図 3】



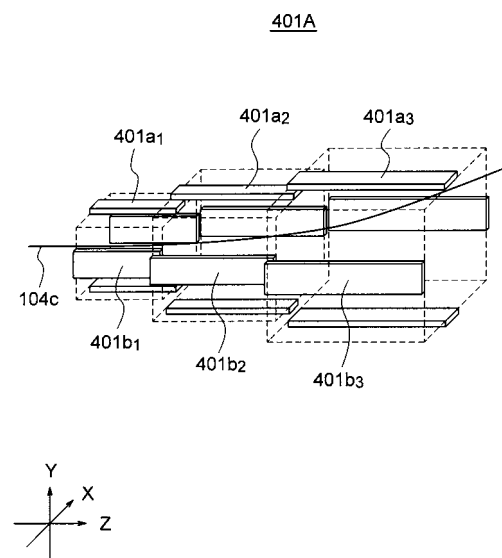
【図 4】



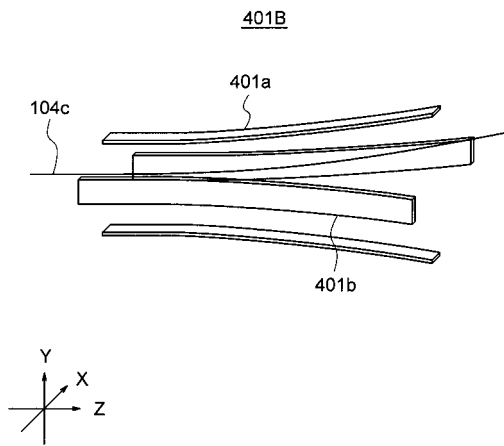
【図 5】



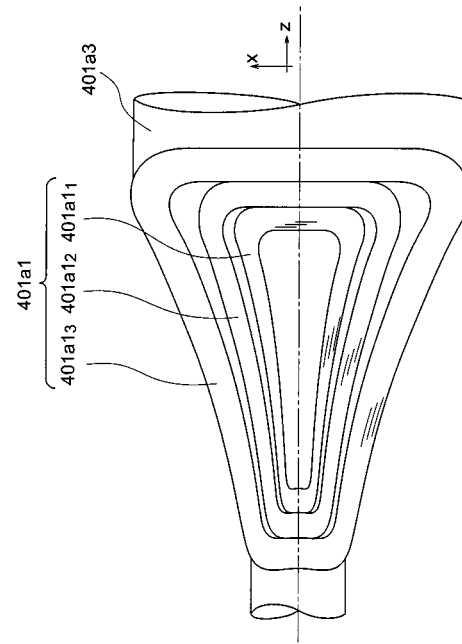
【図 6】



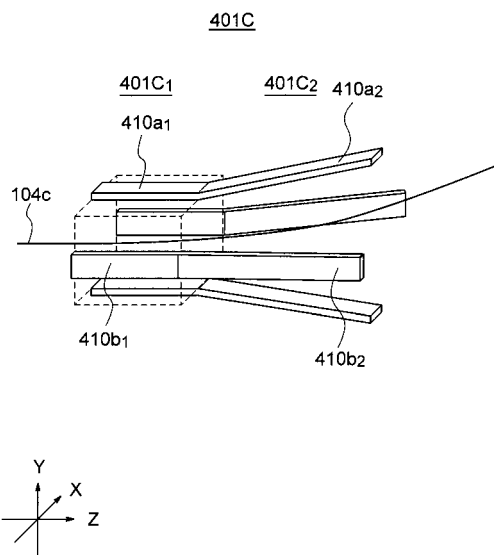
【 図 7 】



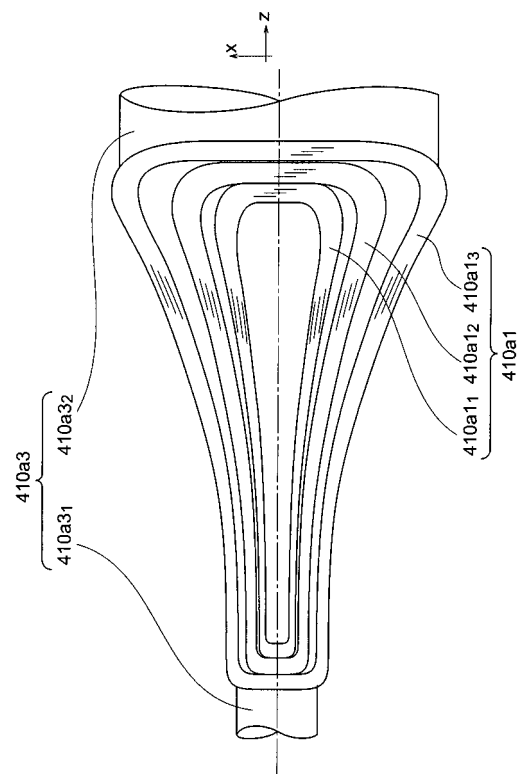
【 図 8 】



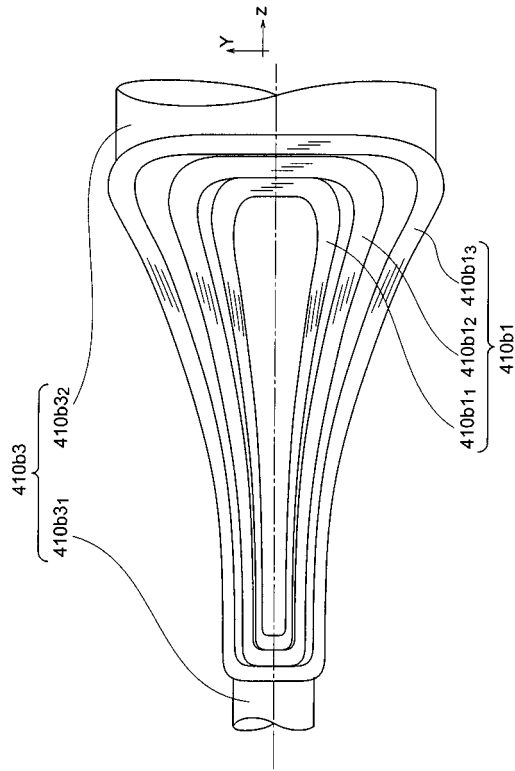
【 図 9 】



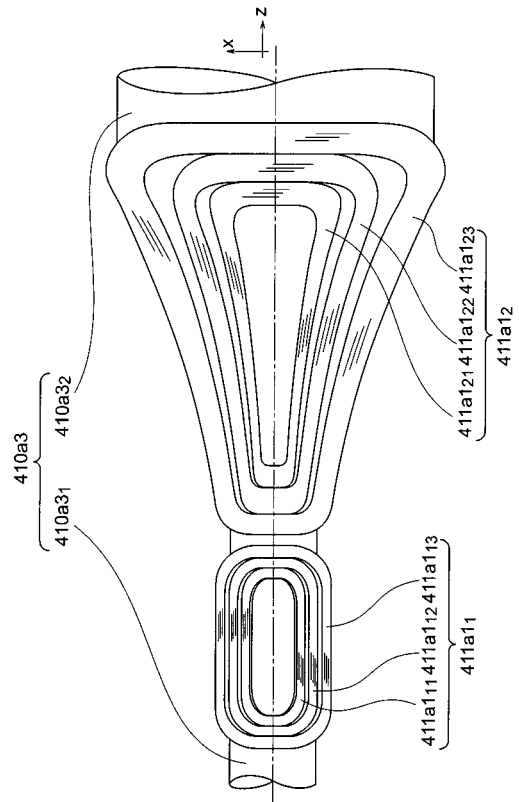
【 図 10 】



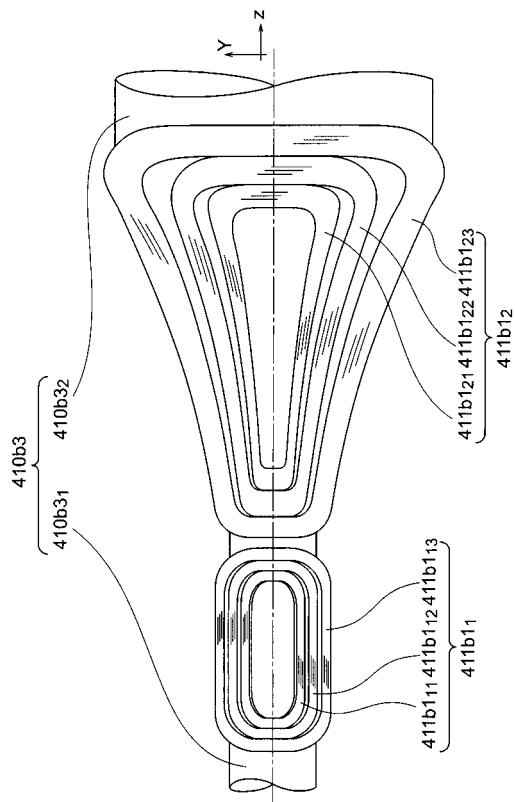
【図 1 1】



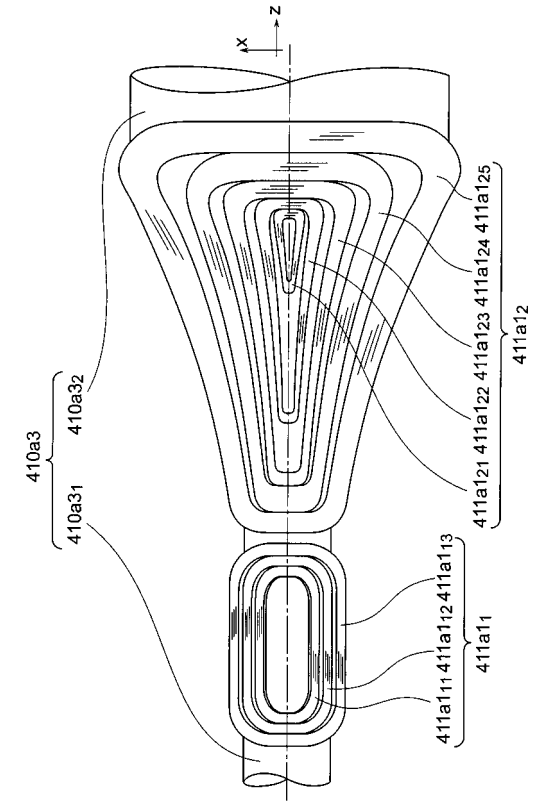
【図 1 2】



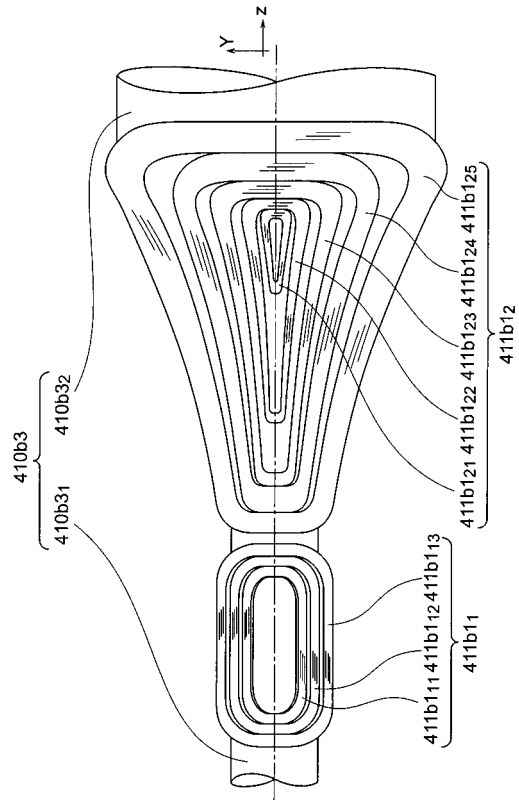
【図 1 3】



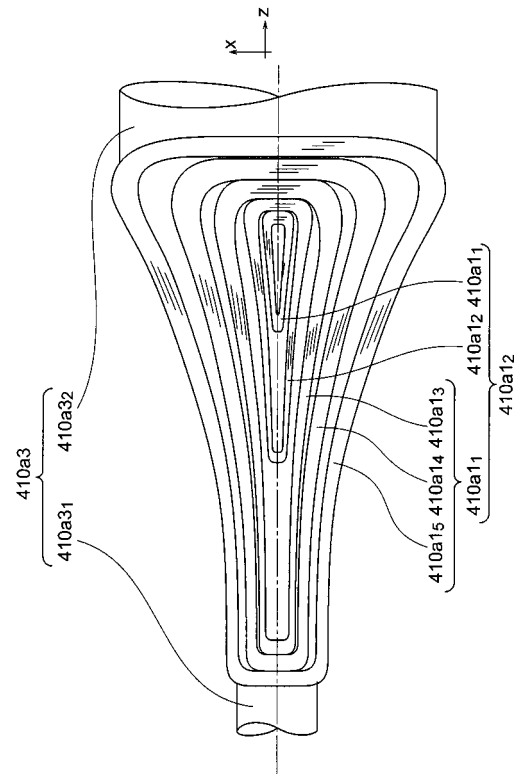
【図 1 4】



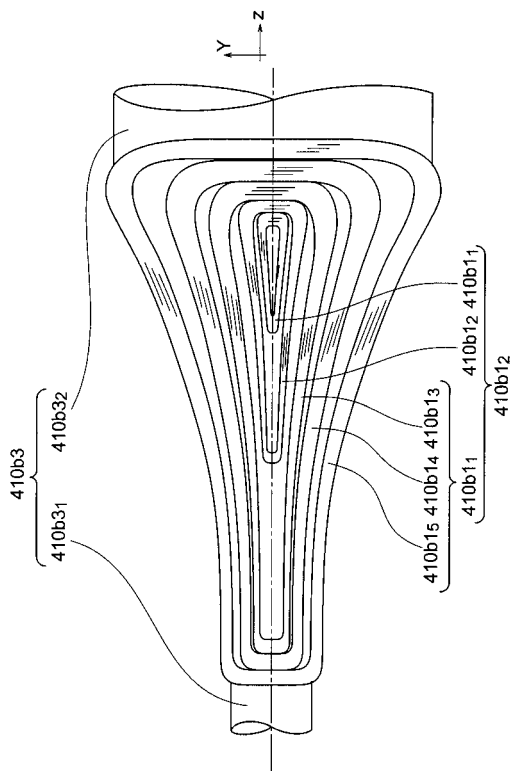
【図 15】



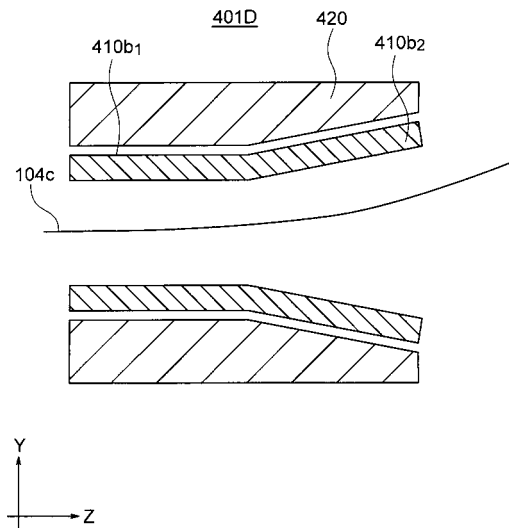
【図 16】



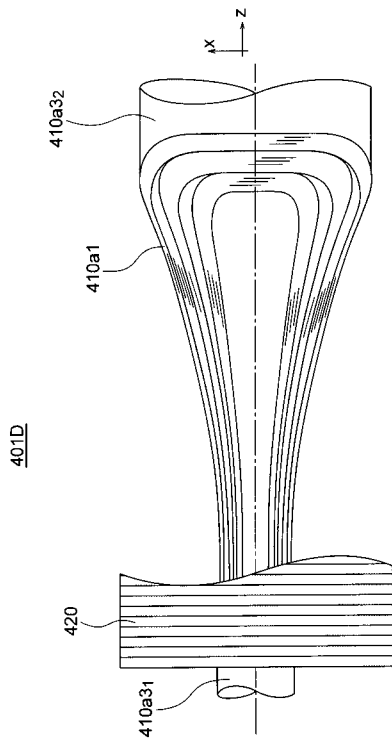
【図 17】



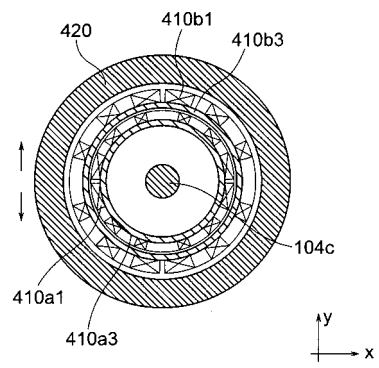
【図 18】



【図 19】



【図 20】



フロントページの続き

- (72)発明者 古川 卓司
千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 国立研究開発法人 放射線医学総合研究所内
- (72)発明者 高山 茂貴
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 矢澤 孝
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 金井 芳治
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 佐藤 耕輔
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 折笠 朝文
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 小柳 圭
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) 4C082 AA01 AC05 AE01 AG12 AG21