

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6625662号
(P6625662)

(45) 発行日 令和1年12月25日 (2019. 12. 25)

(24) 登録日 令和1年12月6日 (2019. 12. 6)

(51) Int. Cl.	F I
A 6 1 N 5/10 (2006.01)	A 6 1 N 5/10 P
	A 6 1 N 5/10 M
	A 6 1 N 5/10 Q

請求項の数 20 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2017-555312 (P2017-555312)	(73) 特許権者	318004198
(86) (22) 出願日	平成28年4月22日 (2016. 4. 22)		イオン ビーム アプリケーションズ ソ
(65) 公表番号	特表2018-513746 (P2018-513746A)		シエテ アノニム
(43) 公表日	平成30年5月31日 (2018. 5. 31)		Ion Beam Applications S. A.
(86) 国際出願番号	PCT/EP2016/059009		ベルギー王国 1 3 4 8 ルーヴァンーラ
(87) 国際公開番号	W02016/170115		ーヌーヴ, シュマン デュ シクロトロン
(87) 国際公開日	平成28年10月27日 (2016. 10. 27)		3
審査請求日	平成31年2月19日 (2019. 2. 19)	(74) 代理人	110001302
(31) 優先権主張番号	15165139.5		特許業務法人北青山インターナショナル
(32) 優先日	平成27年4月24日 (2015. 4. 24)	(72) 発明者	マルセリス, シモン
(33) 優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁 (EP)		ベルギー王国 1 3 4 8 ルーヴァンーラ
早期審査対象出願			ーヌーヴ, シュマン デュ シクロトロン
			3, シー/オー イオン ビーム アプリケーションズ ソシエテ アノニム
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 粒子線治療装置の品質保証のためのファントム及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

強度変調粒子線治療 (IMPT) 形態に使用可能な粒子線治療装置の品質保証のためのファントム (10) であって、

a) 第1の面 (50) 及び前記第1の面と平行な第2の面 (60) を有し、RX透過材でできている縁部 (40) を有するフレーム構造体 (30) と、

b) 前記第1の面に対して配向され、それと平行な第1のウェッジ面 (80) と、前記第1の面に対向して配向され、前記第1の面 (50) に対して傾斜される第2のウェッジ (90) 面とをそれぞれが有する1つ以上のウェッジ (70) と、

c) 前記第1の面に対して配向され、それと平行な第1のブロック面 (110) と、前記第2の面 (60) に対して配向され、それと平行な第2のブロック面 (120) とを有する第1の材料ブロック (100) であって、絶対線量計 (130) が前記第1のブロック面 (110) に配置される、第1の材料ブロック (100) と、

d) 前記第1の面に対して配向され、それと平行な第1のブロック面 (150) と、前記第2の面 (60) に対して配向され、それと平行な第2のブロック面 (160) とを有する第2の材料ブロック (140) と、

e) 前記第1 (100) 及び/又は前記第2のブロック (140) に位置する高密度材料の複数のビード (170) と、

f) 前記第2の面に配置される2D検出器 (180) と、を備え、

前記1つ以上のウェッジ (70)、第1の材料ブロック、絶対線量計、第2の材料ブロッ

10

20

ク、高密度材料の複数のビード（１７０）、及び２Ｄ検出器（１８０）が、前記フレーム構造体（３０）に関して既知の固定位置にあるファントム（１０）において、

高密度材料の中央ビード（１７５）は、前記フレーム構造体（３０）に関して中央の既知の固定位置に保持され、前記１つ以上のウェッジ（７０）、前記第１（１００）及び第２の材料ブロック（１４０）は、前記第１の面（５０）から、そして、それと垂直に、前記中央ビード（１７５）を通して前記ファントム（１０）を横断するビームが、前記中央ビード（１７５）の他に何れかの材料も横断することなく、前記第２の面（６０）に到達するように、前記フレーム構造体（３０）内に配置される、

ことを特徴とするファントム。

【請求項２】

請求項１に記載のファントム（１０）において、前記フレーム構造体（３０）は多面体形状であることを特徴とするファントム。

【請求項３】

請求項２に記載のファントム（１０）において、前記多面体は直方体であることを特徴とするファントム。

【請求項４】

請求項１乃至３の何れか一項に記載のファントム（１０）において、視認マーカ（２００）が１つ以上の前記縁部（４０）の既知の位置に提供されることを特徴とするファントム。

【請求項５】

請求項１乃至４の何れか一項に記載のファントム（１０）において、前記１つ以上のウェッジ（７０）は、前記第１のウェッジ面（８０）と第２のウェッジ面（９０）との間に、２０ｍｍ～３１５ｍｍの間に備えられる距離を有し、水等価放射線吸収特性を有する材料でできている部分（２１０）を備えることを特徴とするファントム。

【請求項６】

請求項１乃至５の何れか一項に記載のファントム（１０）において、前記１つ以上のウェッジ（７０）及び／又は前記第１のブロック（１００）及び／又は前記第２のブロック（１４０）は、水等価放射線吸収特性を有する材料でできていることを特徴とするファントム。

【請求項７】

請求項１乃至６の何れか一項に記載のファントム（１０）において、前記２Ｄ検出器（１８０）は、クリップ（２２０）によって前記第２の面（６０）の前記縁部（４０）に保持されることを特徴とするファントム。

【請求項８】

請求項１乃至７の何れか一項に記載のファントム（１０）において、前記複数の高密度材料ビード（１７０、１７５）は、１～３ｍｍの間の直径を有する金属製球体であることを特徴とするファントム。

【請求項９】

強度変調粒子線治療（ＩＭＰＴ）形態に使用可能な粒子線治療装置の品質保証のための方法において、前記装置は、基準位置を有する患者ポジショナと、それぞれがＸ線源及び２Ｄ Ｘ線検出器を備える２つ以上のＸ線システムとを備え、前記方法は、

a) 請求項１～８の何れか一項に記載のファントム（１０）を提供するステップと、

b) 前記ファントム（１０）を前記患者ポジショナ上に位置決めするステップと、

c) 前記患者ポジショナを前記基準位置に位置決めするステップと、

d) 前記ファントムの中央の既知の固定位置に向けられるペンシルビームを前記ファントム（１０）に照射し、且つ、前記２Ｄ検出器（１８０）上で前記ペンシルビームの画像を取得するステップと、

e) 前記画像から、前記中央ビード（１７５）と前記ペンシルビームとの間の距離を計算するステップと、

を含むことを特徴とする方法。

10

20

30

40

50

【請求項 10】

請求項 9 に記載の方法において、更に、ステップ b) と c) との間に、

f) 前記患者ポジショナを前記基準位置から既知のオフセットベクトルに位置決めするステップと、

g) 前記ファントム (10) の 1 つ以上の X 線画像を前記 2 D X 線検出器上で取得するステップと、

h) 前記 2 D X 線検出器上での前記高密度材料ビード (170、175) の前記画像から、前記患者ポジショナを前記基準位置に移動させるための修正ベクトルを計算するステップと、

i) 前記オフセットベクトルの、且つ、前記修正ベクトルの合計が閾値未満であることを検証するステップと、

を含むことを特徴とする方法。

10

【請求項 11】

請求項 9 又は 10 の何れか一項に記載の方法において、更に、ステップ c) の後に、

j) それぞれが同じエネルギーを有する複数のペンシルビームを前記ファントム (10) に対して照射し、且つ、前記 2 D 検出器 (180) 上で前記ペンシルビームの前記画像を取得するステップと、

k) 前記画像から、ビーム範囲、スポットサイズ、スポット位置を計算するステップと、

、

l) 前記絶対放射線検出器 (130) から放射線量を取得するステップと、

20

m) 前記ビーム範囲、スポットサイズ、スポット位置、及び放射線量が、期待ビーム範囲、スポットサイズ、スポット位置、及び放射線量からの範囲内にあることを検証するステップと、

を含むことを特徴とする方法。

【請求項 12】

請求項 9 乃至 11 の何れか一項に記載の方法において、前記ファントム (10) は視認マーカ (200) を 1 つ以上の前記縁部 (40) の既知の位置に備え、前記方法は、更に、

n) 光又はレーザ光の 1 つ以上のファンを前記視認マーカ (200) に向けるステップと、

30

o) 前記視認マーカ (200) との光又はレーザ光の前記ファンの一致を検証するステップと、

を含むことを特徴とする方法。

【請求項 13】

請求項 11 に記載の方法において、更に、異なるビームエネルギーに対してステップ j) から m) を繰り返すステップを含むことを特徴とする方法。

【請求項 14】

請求項 9 に記載の方法において、ステップ c) から e) のうちの少なくとも 1 つは、自動的にプログラムの制御下で行われることを特徴とする方法。

【請求項 15】

40

請求項 10 に記載の方法において、ステップ f) から i) のうちの少なくとも 1 つは、自動的にプログラムの制御下で行われることを特徴とする方法。

【請求項 16】

請求項 11 に記載の方法において、ステップ j) から m) のうちの少なくとも 1 つは、自動的にプログラムの制御下で行われることを特徴とする方法。

【請求項 17】

請求項 12 に記載の方法において、ステップ n) から o) のうちの少なくとも 1 つは、自動的にプログラムの制御下で行われることを特徴とする方法。

【請求項 18】

請求項 13 に記載の方法において、ステップ j) から m) のうちの少なくとも 1 つは、

50

自動的にプログラムの制御下で行われることを特徴とする方法。

【請求項 19】

請求項 9 に記載のステップ c) から e) 及び／又は請求項 10 に記載のステップ f) から i) 及び／又は請求項 11 に記載のステップ j) から m) 及び／又は請求項 12 に記載のステップ n) から o) を実行するためのコードを備えるコンピュータプログラム。

【請求項 20】

粒子線治療装置の前記品質保証のための、請求項 1 乃至 9 の何れか一項に記載のファントム (10) を備えるシステム、及び、請求項 19 に記載のコンピュータプログラムを備えるコントローラ。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

発明は、粒子線治療分野に関する。より詳細には、発明は、ペンシルビームスキャニング法としても公知の強度変調粒子線治療 (IMPT) 形態において用いられる粒子線治療装置の品質管理のためのファントム及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

現在のプロトンビーム施設において、ペンシルビームスキャニング法 (PBS) はターゲットの個別のスポットの照射を含み、各スポットは所定の位置及び深度を有し、所定の線量が各スポットに処方される。施設の各処置室では、伝送されるビームの多様な特性が、日々の検証作業を受けている。こうした特性として以下のものがある：

20

- ー ビーム範囲：所定のターゲット、通常は、水ファントム又は多層電離箱における所定のビームエネルギーでのブラッグピークの位置であり；
- ー スポット位置及びスポットサイズ：適切な 2D 検出器、例えば、CCD カメラを備えた電離箱のアレイ又はシンチレータスクリーンによって測定される；
- ー 蓄積線量：照射設備の出力率を調べるために、絶対電離箱によって測定される。

これら各特性は、個別の測定デバイスによって、多数の異なるビームエネルギー準位において一般的には測定される。完全な検証には、ファントム又は測定デバイスを適合させるために処置室への入室を含む、多くの手動操作を必要とする。従って、検証作業を完了させるのに必要な時間は、略 30～60 分間程度となる。こうした長い検証時間は、一日に行うことができる処置数に関して、処置施設の効率を低下させる。

30

【0003】

文献、欧州特許第 2 4 2 2 8 4 7 号明細書は、標準的な原体照射 (すなわち、高エネルギー X 線であり、粒子線ではない) 治療、特に IMRT (強度変調放射線治療) における照射ビームの検証用の線量測定デバイスに関する。そのデバイスは、放射線検出器のラインを備えた活性領域と、厚さの異なる複数のディグレーダを備えたビルドアッププレートとを備える。このデバイスは、通常は、放射線治療装置に用いられるマルチリーフコリメータの機能を検証する特定の目的と共に設計されているが、粒子線治療装置の包括的な検証を行うために設計されていない。このデバイスは、粒子線のビーム範囲を測定するには適しておらず、何故ならば、ビルドアッププレートの厚さが、所定のエネルギーのハドロンビームによって生じるブラッグピークの位置に適応しないからである。

40

【0004】

文献、国際公開第 2 0 1 3 1 6 0 3 7 9 号パンフレットは、範囲、スポットサイズ、及びスポット位置を含む、粒子線治療装置によって発せられるビームの特性を検証することが可能なハドロンビーム検証用の装置及び方法を開示している。しかし、この装置及び方法は、患者位置決めシステム、RX 線撮像システム等の構成部品を含む粒子線治療装置の包括的な検証を行うために設計されていない。X 線源に対する粒子線、若しくは、患者位置決めシステムの正確な調整を決定することを可能にするための、何の手段も備えられていない。

【発明の概要】

50

【0005】

発明の目的は、強度変調粒子線治療（IMPT）形態に用いられる粒子線治療装置の品質保証のためのファントム及び方法を提供して、粒子線治療装置の迅速で、信頼性のある検証を行うことを可能にすることにある。より正確には、それぞれがX線源及び2D X線検出器を備える2つ以上のX線システムと連係して粒子線治療装置によって発せられる粒子線の調整を行うことを可能にするファントムを必要とする。

【0006】

本発明は、独立クレームによって定義される。従属クレームは、有利な実施形態を定義している。

【0007】

発明の第1の態様によれば、強度変調粒子線治療（IMPT）形態に使用可能な粒子線治療装置の品質保証のためのファントムであって、（a）第1の面及び前記第1の面と平行な第2の面を有し、RX透過材でできている縁部を有するフレーム構造体と、（b）前記第1の面に対して配向され、それと平行な第1のウェッジ面と、前記第1の面に対向して配向され、前記第1の面に対して傾斜される第2のウェッジ面とをそれぞれが有する1つ以上のウェッジと、（c）前記第1の面に対して配向され、それと平行な第1のブロック面と、前記第2の面に対して配向され、それと平行な第2のブロック面とを有する第1の材料ブロックであって、絶対線量計が前記第1のブロック面に配置される、第1の材料ブロックと、（d）前記第1の面に対して配向され、それと平行な第1のブロック面と、前記第2の面に対して配向され、それと平行な第2のブロック面とを有する第2の材料ブロックと、（e）前記第1及び／又は前記第2のブロックに位置する高密度材料の複数のビードと、（f）前記第2の面に配置される2D検出器と、を備えるファントムが提供される。発明によれば、前記1つ以上のウェッジ、第1の材料ブロック、絶対線量計、第2の材料ブロック、高密度材料の複数のビード、及び2D検出器は、前記フレーム構造体に関して既知の固定位置にある。発明のファントムは、フレーム構造体に関して中央の既知の固定位置に保持される高密度材料の中央ビードを備えてもよく、前記1つ以上のウェッジ、前記第1及び第2の材料ブロックは、前記第1の面から前記から、そして、それと垂直に、前記中央ビードを通して前記ファントムを横断するビームが、前記中央ビードの他に何れかの材料も横断することなく、前記第2の面に到達するように、前記フレーム構造体内に配置される。

【0008】

フレーム構造体は、多面体形状であるのが好ましく、直方体であるのがより好ましい。

【0009】

視認マークが1つ以上の前記縁部の既知の位置に提供されてもよい。

【0010】

1つ以上のウェッジは、前記第1の面と第2の面との間に、20mm～315mmの間に備えられる距離を有する部分を備え、水等価放射線吸収特性を有する材料でできているのが好ましい。かかる距離を選択することによって、前記粒子線治療装置によって発せられ、前記第1のウェッジ面を貫通する粒子線のブラッグピークは、粒子線治療に対して一般に用いられるエネルギーの範囲内のビームエネルギーのために、前記第2のウェッジ面において発生する。

【0011】

ウェッジ及び／又は第1のブロック及び／又は第2のブロックは、水等価放射線吸収特性を有する材料でできているのが好ましい。水等価放射線吸収特性を有する材料は、粒子線が、材料を通るその移動中に、水中で同じ貫通距離において失うものと同じエネルギー量を失う材料である。

【0012】

2D検出器は、クリップによって前記第2の面の縁部に保持されるのが好ましい。

【0013】

複数の高密度材料ビードは、1～3mmの間の直径を有する金属製球体であるのが好ま

10

20

30

40

50

しい。

【0014】

発明の第2の態様によれば、強度変調粒子線治療（IMPT）形態に使用可能な粒子線治療装置の品質保証のための方法において、前記装置は、基準位置を有する患者ポジショナと、それぞれがX線源及び2D X線検出器を備える2つ以上のX線システムとを備え、

- a) 発明によるファントムを提供するステップと、
- b) 前記ファントムを前記患者ポジショナ上に位置決めするステップと、
- c) 前記患者ポジショナを前記基準位置に位置決めするステップと、
- d) 前記ファントムの中央の既知の固定位置に向けられるペンシルビームを前記ファントムに照射し、且つ、前記2D検出器上で前記ペンシルビームの画像を取得するステップと、
- e) 前記画像から、中央ビードと前記ペンシルビームとの間の距離を計算するステップと、を含む方法が提供される。

【0015】

好ましくは、方法は更に、ステップb)とc)との間に、

- f) 前記患者ポジショナを前記基準位置から既知のオフセットベクトルに位置決めするステップと、
- g) 前記ファントムの1つ以上のX線画像を前記2D X線検出器上で取得するステップと、
- h) 前記2D X線検出器上での前記高密度材料ビードの画像から、前記患者ポジショナを前記基準位置に移動させるための修正ベクトルを計算するステップと、
- i) 前記オフセットベクトルの、且つ、前記修正ベクトルの前記合計が閾値未満であることを検証するステップと、を含んでもよい。

【0016】

より好ましくは、方法は更に、ステップc)の後に、

- j) それぞれが同じエネルギーを有する複数のペンシルビームを前記ファントム（10）に対して照射し、且つ、前記2D検出器（180）上で前記ペンシルビームの画像を取得するステップと、
- k) 前記画像から、ビーム範囲、スポットサイズ、スポット位置を計算するステップと、
- l) 前記絶対放射線検出器（130）から放射線量を取得するステップと、
- m) 前記ビーム範囲、スポットサイズ、スポット位置、及び放射線量が、期待ビーム範囲、スポットサイズ、スポット位置、及び放射線量からの範囲内にあることを検証するステップと、を含んでもよい。

【0017】

代替として、強度変調粒子線治療（IMPT）形態に用いられる粒子線治療装置の品質保証のための方法において、前記装置は、基準位置を有する患者ポジショナと、それぞれがX線源及び2D X線検出器を備える2つ以上のX線システムとを備え、

- n) 発明によるファントムを提供するステップと、
- o) 前記ファントムを前記患者ポジショナ上に位置決めするステップと、
- p) 前記患者ポジショナを前記基準位置から既知のオフセットベクトルに位置決めするステップと、
- q) 前記ファントムの1つ以上のX線画像を前記2D X線検出器上で取得するステップと、
- r) 前記2D X線検出器上での前記基準の画像から、前記患者ポジショナを前記基準位置に移動させるための修正ベクトルを計算するステップと、
- s) 前記オフセットベクトルの、且つ、前記修正ベクトルの前記合計が閾値未満であることを検証するステップと、
- t) 前記患者ポジショナを前記基準位置に位置決めするステップと、

u) それぞれが同じエネルギーを有する複数のペンシルビームを前記ファントムに対して照射し、且つ、前記2D検出器上で前記ペンシルビームの画像を取得するステップと、
v) 前記画像から、ビーム範囲、スポットサイズ、スポット位置を計算するステップと、

、

w) 前記絶対放射線検出器から放射線量を取得するステップと、

x) 前記ビーム範囲、スポットサイズ、スポット位置、及び放射線量が、期待ビーム範囲、スポットサイズ、スポット位置、及び放射線量からの範囲内にあることを検証するステップと、を含む方法が提供される。

【0018】

好ましい方法によれば、前記ファントムが視認マーカを1つ以上の縁部の既知の位置に備えている場合、更に、方法は、

a) 光又はレーザ光の1つ以上のファンを前記視認マーカに向けるステップと、

b) 前記視認マーカとの光又はレーザ光の前記ファンの一致を検証するステップと、を含むことを含んでいてもよい。

【0019】

ステップj) からm) は、異なるビームエネルギーに対して繰り返されてもよい。

【0020】

ステップc) からm) のうちの少なくとも1つは、自動的にプログラムの制御下で行われることが有利である。

【0021】

発明の第3の態様によれば、発明の方法のステップc) からm) のうちの少なくとも幾つかを実行するためのコードを備えるコンピュータプログラムが提供される。

【0022】

発明の第4の態様によれば、粒子線治療装置の品質保証のための、発明によるファントムを備えるシステム、及び、発明によるコンピュータプログラムを備えるコントローラが提供される。

【0023】

発明の第5及び最後の態様によれば、粒子線治療装置の品質保証のためのファントムであって、

a) x y 検出器平面を有する、粒子を検出するための2D検出器と、

b) 前記x y 検出器平面と平行な表面と、前記x y 検出器平面に対して傾斜した表面とを有するウェッジ形ブロックと、

c) 第1の支持ブロック上に位置する2つ以上の撮像マーカと、

d) 線量計検出器を支持するために構成される第2のブロックと、を備えるファントムが提供され、

ファントムは、更に、前記x y 検出器平面と本質的に垂直な線に沿って位置決めされる基準マーカを備え、ウェッジ形ブロック、第1のブロック、及び第2のブロックは、前記線を遮らないために位置し、構成される。

【図面の簡単な説明】

【0024】

本発明のこれら及び更なる態様を、例として、以下の添付図面を参照して更に詳細に説明する。

【0025】

【図1】図1は、発明の実施形態によるファントムの斜視図である。

【図2】図2は、他方の側から見た同じファントムの斜視図である。

【図3】図3は、同一のウェッジの斜視図である。

【図4】図4は、ウェッジを横断するビーム及び対応する画像の略図である。

【図5】図5は、同じファントムの中央ビード及び対応する画像の略図である。

【図6a】図6aは、既知のオフセット位置におけるファントムの略図である。

【図6b】図6bは、基準位置におけるファントムの略図である。

【図 7 a】図 7 a は、照射された複数のペンシルビームの略図である。

【図 7 b】図 7 b は、対応する画像である。

【図 8】図 8 は、フィルムをフレーム構造体に固定するための手段の詳細図である。

【0026】

図の描写は、正確な縮尺又は原寸に比例して描かれていない。概して、同一の構成要素は、図において同じ符号で表記される。

【発明を実施するための形態】

【0027】

図 1 は、発明の実施形態によるファントム 10 の斜視図である。フレーム構造体 30 は、一連の縁部 40 を備え、図示する実施例において、直方体である多面体を形成している。前記直方体の第 1 の面はビーム入射面を用いてもよく、すなわち、この面は、ファントムが使用されている場合に、ビーム源に向かって配向される。これらの縁部は、例えば、炭素繊維等の X 線透過材からできており、金属片を用いずに、例えば、接着によって組み立てられている。ファントム 10 は、後で説明する一連のウェッジ 70 を備えている。ファントムは、それぞれ、フレーム構造体 30 の第 1 の 50 及び第 2 の 60 面と平行な、第 1 の面 110 と、第 2 の面 120 とを有する第 1 の材料ブロック 100 を備えている。絶対線量計 130 は、位置し、この第 1 のブロックの第 1 の面 110、そして、ビーム源によって発せられる線量を測定するために用いられてもよい。電離箱が絶対線量計として用いられてもよい。第 1 の材料ブロック 110 と、第 2 の材料ブロック 140 との間には、ビームが第 1 の面 50 を通り、それらと垂直にファントム 10 に進入して、フレーム構造体 30 の第 1 の 50 及び第 2 の 60 面の中心を貫通する線上に都合よく位置するこのチャンネルの中心線に沿って位置する中央高密度材料ビードを除いて、何れかの材料も横切ることなく、フレーム構造体を通過することを可能にする開口チャンネルが提供されている。この中央ビード 175 は、ファントム 10 の構成部品のうちの 1 つに、例えば、図 1 に示すように、第 2 のブロック 140 上に取り付けられる X 線透過材の棒を通してこの位置に都合よく保持されてもよい。中央ビード 175 に加えて、一組の追加ビード 170 が、ファントム内の既知の位置に位置している。図示する実施例において、2 つのビード 170 が第 2 のブロック 140 の第 1 の面 150 に位置し、2 つのビード 170 が第 1 のブロック 100 の上面に位置している。これらのビード 170、175 の機能及び役割は、発明の方法に関して説明する。「高密度材料」によって意味するのは、ビードが X 線撮像により、そして、粒子線の下での 2D 検出器で視認できるような、1 よりも高い密度を有する材料である。金属、例えば、鋼からできているビードはこの目的にとって都合がよい。1 ~ 3 mm の範囲、例えば、2 mm の球体の使用が、画像にける十分な可視性と、位置決めにおける良好な精度とを提供するために都合がよいことがわかった。ビードは、材料ブロックに穿孔された孔に固定されてもよい。視認マーカ 200 が、フレーム構造体 30 の縁部 40 上の既知の位置に提供されてもよい。これらの視認マーカ 200 の機能及び使用は、以下で検討する。

【0028】

図 2 は、同じ構成部品を示し、他方の側から見た同じファントムの斜視図である。図示する実施例において、4 つのウェッジが提供され、第 2 のウェッジ面 90 は、フレーム構造体 30 の第 2 の面 60 に対して 24° の角度で傾斜している。第 1 のブロック 100 の第 2 の面 120 及び第 2 のブロックの第 2 の面 160 が現れている。

【0029】

図 3 は、図 2 のファントムのウェッジの斜視図である。2 つの上部ウェッジは、上部において 65 mm と下部において 20 mm のビーム経路長、及び中間高さにおいて 42.5 mm の経路長を有している。ウェッジが水等価材料でできている場合、これは、73.37 MeV のエネルギーを有する陽子線のブラッグピークの深さに相当する。同様に、底部右側ウェッジは、106.4 MeV のエネルギーに対応する中間高さにおいて 82.5 mm の経路長を有するための寸法となっており、底部左側ウェッジは、172.53 MeV のエネルギーのブラッグピークに対応する中間高さにおいて 192.5 mm の経路長を有

するための寸法となっている。例えば、長さ70mm、100mm、200mm、及び250mmを有する追加ブロックが、それぞれ、145.13MeV、197.22MeV、220.9MeVのブラッグピークの深さに相当する、中間高さにおいて142.25mm、242.50、及び292.50mmの経路長に達するために（図示する蟻継アセンブリを介して）上部ウェッジに追加されてもよい。当該技術において公知であるように、粒子線治療装置は、患者の体内である範囲の深さに位置する腫瘍を治療するために設計されている。従って、装置は、前記範囲の深さに相当するブラッグピーク深さを生じるエネルギー範囲を有する粒子線を生成することを可能にするために設計されている。当業者は、粒子線治療装置を検証するのに必要な範囲のビームエネルギーを測定するために1つ以上のウェッジの寸法を選択する方法を知るであろう。

10

【0030】

図4は、発明のファントム及び方法を用いて、ビームエネルギーを決定する方法を示している。ビーム（又は一連の個々のペンシルビーム）は、単数又は複数のウェッジの第1の面80に向けられる。ビームがウェッジを通過した後に2D検出器に蓄積される線量が測定される。検出された線量が最大である高さはブラッグピークに相当し、ウェッジにおいて対応する経路長210は、公知の方法においてビームエネルギーに対応するブラッグピーク深さを与えている。

【0031】

発明のファントムを用いて、X線撮像源及び検出器、位置決めシステム、並びに、これらの構成部品を管理するために用いられる制御システムを含む放射線治療装置の構成部品の機能を効果的且つ迅速に検証することが可能である。ファントムは、患者ポジショナ（患者テーブル）上の公称位置に位置決めされる。患者ポジショナは、基準位置から既知のオフセット位置に位置決めされる。このオフセット位置は、空間並進（x、y、z）並びに角度方向及び配向を含んでいてもよい。X線撮像システムは、次いで、ファントムの写真を撮影するために用いられ、X線検出器上のビード170、175の画像から、修正ベクトルが公知の方法で計算されてもよい。オフセットの追加及び修正（並進及び回転）はゼロであるべきであり、ゼロからの何らかの逸脱も、システム内の潜在的な初期値として扱われるべきである。全てのこれらのステップは、プログラム制御下で有利に実行されてもよい。取得したX線画像は、修正ベクトルを計算するために、プログラムによって処理されてもよい。患者ポジショナは、次いで、基準位置に移動される。この基準位置は、2D検出器が粒子線治療装置のアイソセンタに位置決めされるような位置であってもよい。この段階において、そして、追加の点検が、ファントムが正しい位置にあることを検証するために行われてもよい：一組の（レーザ）光源は、基準位置周辺の固定及び既知の位置に設置され、（レーザ）光のファンビームを向ける。光源は、フレーム構造体30の縁部上の視認マーカ200に到達するために設置され、向けられている。これらのマーカ200上のこれらのファンビームの画像は、ファントムが正しい位置にあることを確かめるために確認される。再度、画像の取得及び処理を含むこれらのステップは、自動的にプログラム制御下で有利に行われてもよい。図6a及び6bは、それぞれ、既知のオフセット位置及び基準位置におけるファントムの略図である。

20

30

【0032】

中央ビード175の機能を、ここで検討する。ファントムが基準位置に位置決めされている場合、粒子線はファントムにおいて中心線に沿って向けられる。2D検出器から取得された対応する画像を図5の中央に示し、対応するヒストグラムを図5の右側部分に示す。ピークはビームに対応し、このピークの図心は、例えば、ピークの中間高さに位置する2点間の中点を取ることによって決定できる。ピーク頂部の谷部は、ビード175によって引き起こされる吸収から生じている。この谷部の中心はビード位置に対応する。このヒストグラムは、X線システムにより行われる寸法形状調整に対するビーム調整の検証を可能にする。ビームのピークの図心は、中央ビード175によって生じるピーク頂部における谷部の中心と一致しなければならない。中央ビームの方向を制御するステップ、2D検出器の取得ステップ、及び検証信号を提供するための画像の処理ステップは、自動的にプ

40

50

プログラム制御下で行われてもよい。

【0033】

図7aは、放射線治療装置によるプログラム制御下で生成され、基準位置のファントムに向けられる一連のビームを表している。図7bは、2D検出器から取得される対応画像を表している。これらの画像から、上で検討したような、ビームエネルギー及び調整等の異なるパラメータが得られてもよい。また、スポットサイズ及び位置は公知の方法で検証されてもよい。

【0034】

発明のファントム10内のフレーム構造体30の存在は、以下の多くの利点を有する：ファントムは容易に操作することができ、フレームはファントムの様々な構成部品の位置に対して、信頼性があり、正確な基準であり、マーカ200はレーザ光による正確な位置検証を可能にする。加えて、縁部40は、構成部品をフレームに取り付けるために用いられてもよく：2D検出器は、図8に示すように、プラスチック製クリップ220を介してフレームに保持されるフィルム検出器であってもよい。2D検出器は、また、カメラを備えるシンチレータベースの検出器であってもよく、クリップ220を介してフレームに取り付けられてもよい。

10

【0035】

発明のファントム及び方法を用いることによって、位置決めシステム、X線撮像システム、ビーム指向システム等の前記装置の構成部品、線量を含む粒子線治療装置の機能、線量の日々の検証を、信頼できる方法で行うことが可能である。プログラム制御下で行う場合、方法は、特に効果的及び迅速であり、10分未満で完全な品質保証を行うことが可能である。発明の方法により、治療医は、ファントムに対する変更を行うために治療室に入室すること、及び測定を行うために治療室を退室すること等の多くの時間を浪費する操作を不要にしている。

20

【0036】

本発明を、特定の実施形態に着目して説明してきたが、それは、本発明の例証であり、制限するものとして解釈すべきではない。より一般的には、本発明が、特に示し、及び／又は、上で説明してきたものによって制限されないことは、当該技術に精通する者によって正しく理解されるであろう。

【0037】

特許請求の範囲における符号は、それらの保護範囲を制限するものではない。動詞「備える」、「含む」、「から成る」、又は、何れかの他の変形、並びにそれらのそれぞれの語形変化の使用は、説明したそれら以外の要素の存在を除外するものではない。要素の前の冠詞「a」、「an」、又は「the」の使用は、複数のかかる要素の存在を除外するものではない。

30

【図 1】

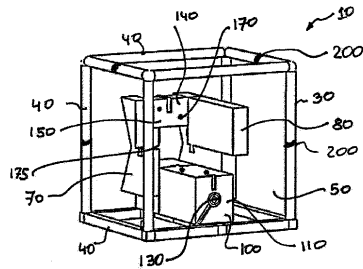


Fig. 1

【図 2】

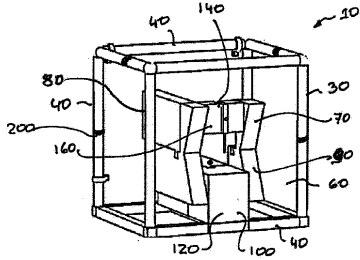


Fig. 2

【図 3】

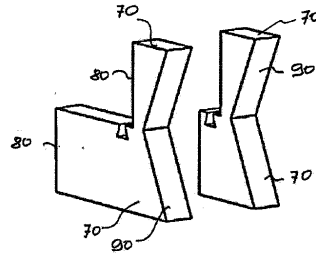


Fig. 3

【図 4】

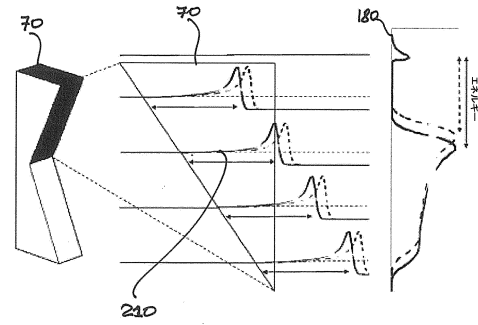


図 4

【図 5】

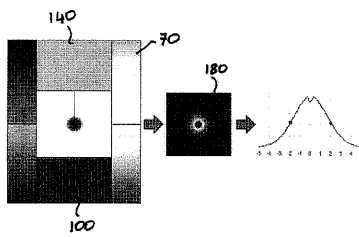


Fig. 5

【図 6 a】

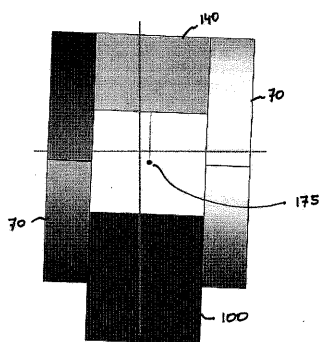


Fig. 6a

【図 6 b】

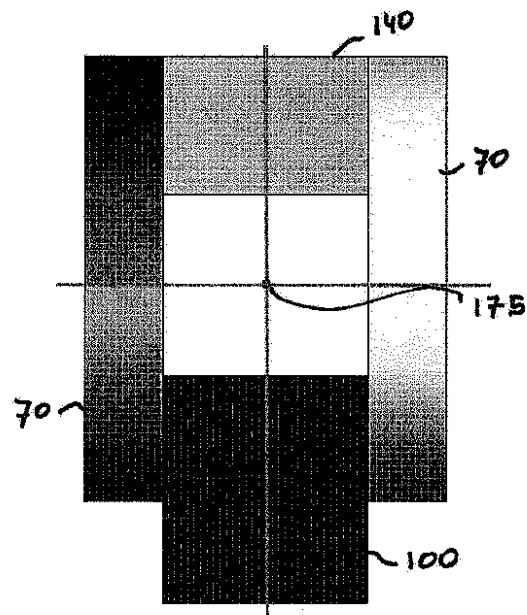


Fig. 6b

【図 7 a】

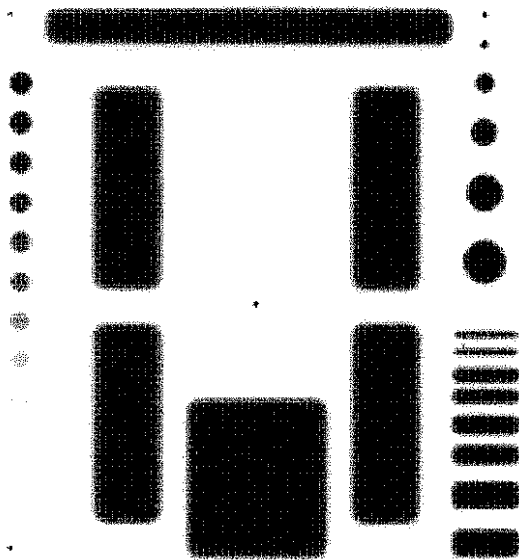


Fig. 7a

【図 7 b】

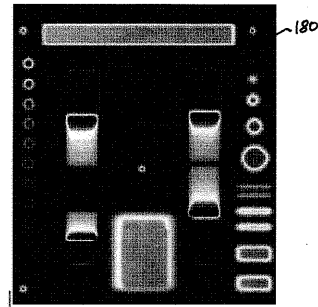


Fig. 7b

【図 8】

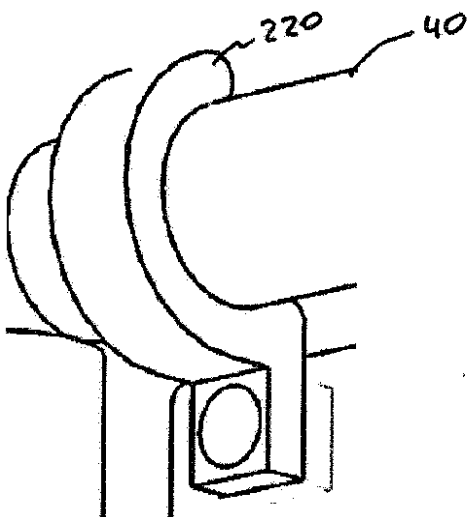


Fig. 8

フロントページの続き

- (72)発明者 クレールブー, イヴ
ベルギー王国 1348 ルーヴァン-ラーヌーヴ, シュマン デュ シクロトロン 3, シー/
オー イオン ビーム アプリケーションズ ソシエテ アノニム
- (72)発明者 メルテンス, ティエリ
ベルギー王国 1348 ルーヴァン-ラーヌーヴ, シュマン デュ シクロトロン 3, シー/
オー イオン ビーム アプリケーションズ ソシエテ アノニム
- (72)発明者 ディシー, フレデリック
ベルギー王国 1348 ルーヴァン-ラーヌーヴ, シュマン デュ シクロトロン 3, シー/
オー イオン ビーム アプリケーションズ ソシエテ アノニム

審査官 石田 智樹

- (56)参考文献 国際公開第2013/160379 (WO, A1)
米国特許出願公開第2008/0219410 (US, A1)
米国特許出願公開第2015/0085993 (US, A1)
独国実用新案第202011104321 (DE, U1)
特開平05-154211 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61N 5/10