

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6103684号  
(P6103684)

(45) 発行日 平成29年3月29日 (2017.3.29)

(24) 登録日 平成29年3月10日 (2017.3.10)

(51) Int. Cl.		F I			
<b>GO 1 T</b>	<b>1/29</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 T	1/29	A
<b>GO 1 T</b>	<b>1/185</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 T	1/185	A
			GO 1 T	1/185	C

請求項の数 8 (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2012-182719 (P2012-182719)</p> <p>(22) 出願日 平成24年8月21日 (2012.8.21)</p> <p>(65) 公開番号 特開2014-41029 (P2014-41029A)</p> <p>(43) 公開日 平成26年3月6日 (2014.3.6)</p> <p>審査請求日 平成27年8月11日 (2015.8.11)</p>	<p>(73) 特許権者 301032942 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号</p> <p>(74) 代理人 110001807 特許業務法人磯野国際特許商標事務所</p> <p>(74) 代理人 100064414 弁理士 磯野 道造</p> <p>(74) 代理人 100111545 弁理士 多田 悦夫</p> <p>(72) 発明者 原 洋介 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】放射線測定装置、放射線測定方法及び電離箱

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射線治療で照射される放射線を測定するための放射線測定装置であって、絶縁体を介して大きさの異なる複数の円環状の電極が同心円環状に設けられるとともに平板状を成し、その平面部が放射線の進行を妨げるようにして設けられる電離箱を備えたことを特徴とする放射線測定装置。

【請求項 2】

前記複数の円環状の電極の面積を前記同心円環状に設けられている前記複数の円環状の電極の中心位置から離れるにつれて増大させたことを特徴とする請求項 1 に記載の放射線測定装置。

【請求項 3】

前記同心円環状に設けられている前記複数の円環状の電極の中心位置に円形の電離箱を設けたことを特徴とする請求項 1 に記載の放射線測定装置。

【請求項 4】

前記電極のそれぞれと接続され、各電極で検出された前記放射線の線量と、予め登録された各電極の半径寸法と、を用いて側方線量分布を算出する側方線量分布算出手段と、前記側方線量分布算出手段にて算出した側方線量分布を用いて三次元線量分布を算出する三次元線量分布算出手段と、

をさらに備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の放射線測定装置。

【請求項 5】

前記側方線量分布を下記式(1)で算出することを特徴とする請求項4に記載の放射線測定装置。

【数1】

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad \dots (1)$$

(式(1)中、 $r$ は半径寸法であり、  
 $\sigma$ は半径寸法 $r$ における前記放射線のビームサイズの標準偏差である。)

10

【請求項6】

請求項1に記載の放射線測定装置で放射線の線量を検出する検出ステップと、  
前記検出ステップにて検出された線量と、予め登録された前記各電極の半径寸法と、を用いて前記放射線の側方線量分布を算出する側方線量分布算出ステップと、  
前記側方線量分布算出ステップにて算出した側方線量分布を用いて三次元線量分布を算出する三次元線量分布算出ステップと、  
を有することを特徴とする放射線測定方法。

【請求項7】

前記側方線量分布を下記式(1)で算出することを特徴とする請求項6に記載の放射線測定方法。

20

【数2】

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad \dots (1)$$

(式(1)中、 $r$ は半径寸法であり、  
 $\sigma$ は半径寸法 $r$ における前記放射線のビームサイズの標準偏差である。)

【請求項8】

請求項1に記載の放射線測定装置に用いられる電離箱であって、  
絶縁体を介して大きさの異なる複数の円環状の電極が同心円環状に設けられるとともに平板状を成し、その平面部がビームの進行を妨げるように設けられたことを特徴とする電離箱。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、放射線測定装置、放射線測定方法及び電離箱に関する。

【背景技術】

【0002】

放射線治療には、X線、ガンマ線、電子線、中性子線、陽子線、重粒子線(重イオン線)などが用いられる。放射線治療における治療計画には、正常な重要臓器を避け、病巣への線量の集中性を高くしたいという要望がある。かかる要望を満たすためには線量分布計算によって高精度に線量分布を予測することが必要である。

40

【0003】

放射線治療、特に、ブラッグピークを有する陽子線や重粒子線などの粒子線を使用した粒子線治療を行う多くの施設では、粒子線の照射方法としてペンシルビーム法を使用している。ペンシルビーム法は、予め設定された小さな照射位置(スポット)に細いペンシルビームを走査(スキャン)させながら予め計画した線量分布どおりに粒子線を照射していくことにより、病巣のある特定の照射領域全体に所定の線量の粒子線を照射する照射方法である。

50

## 【 0 0 0 4 】

ペンシルビーム法では、粒子線治療を行うのに先立って実際に照射する三次元線量分布の予測を行っている。三次元線量分布の予測は、水ファントムと一次元検出器や二次元検出器などのディテクターを用いてペンシルビームが形成する線量分布を三次元的に重ね合わせて行っている。

## 【 0 0 0 5 】

前記したペンシルビームは三次元的な拡がりを持っている。そのため、三次元線量分布を予測する一般的な三次元線量分布計算では、ビーム軸に対して垂直な方向への拡がり（以下、単に「側方向への拡がり」ということがある。）を単一のガウス分布により近似することが多い。なお、ビーム軸とは、ペンシルビームの進行方向に沿った線をいう。

10

## 【 0 0 0 6 】

しかし、実際のペンシルビームは、患者体内や照射装置内のデバイスにより多重クーロン散乱や核反応が起こり、小角度の散乱の他に僅かながら大角度の散乱を持つ。大角度の散乱に関係する成分（大角度散乱成分）は、小角度の散乱に関係する成分（小角度散乱成分）よりもビーム軸から遠方に輸送される（散乱する）。つまり、この大角度散乱成分がペンシルビームの側方線量分布の裾を形成する主な要因となり、広域に渡り線量が付与されることとなる。

## 【 0 0 0 7 】

大角度散乱成分によって一つのスポットに対して多方向から微小な寄与が積算されるので、予測した線量分布と実際の線量分布との間に無視できない誤差が生じる。そのため、大角度散乱成分の拡がりを高い精度で予測する必要があるが、単一エネルギービームの大角度散乱成分は前記したように僅かであるため、それを近似するパラメータを得ることは難しい。

20

## 【 0 0 0 8 】

このような状況下、非特許文献 1 には、多方向から大角度成分の僅かな寄与を集め、線量付与を大きくすることで大角度散乱成分の寄与を近似するパラメータを得る方法が記載されている。この非特許文献 1 では、単一エネルギー炭素線の側方線量分布を、第 1 成分、第 2 成分及び第 3 成分という 3 つの成分に分けて近似させている。これを説明したのが図 10 である。

## 【 0 0 0 9 】

図 10 は、単一エネルギー炭素線の側方線量分布を 3 つのガウス分布の重ね合わせにより近似した場合の例を示すグラフである。図中、横軸はビーム軸に対して垂直な横方向の位置（以下、単に「横方向の位置」という。）[ mm ] を示し、縦軸は相対線量 [ % ] を示す。なお、図中の第 1 成分が小角度散乱成分であり、第 2 成分及び第 3 成分が大角度散乱成分である。図 10 中の Total は、第 1 成分、第 2 成分及び第 3 成分を合計したものである。非特許文献 1 ではこれら第 1 成分、第 2 成分及び第 3 成分から三次元線量分布を予測するのに必要なパラメータを得ている。

30

## 【 先行技術文献 】

## 【 非特許文献 】

## 【 0 0 1 0 】

【 非特許文献 1 】 T. Inaniwa et al., "Field-size effect of physical doses in carbon-ion scanning using range shifter plates", Medical Physics, 36 (2009) p.2889-2897.

40

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 1 1 】

しかしながら、図 10 に示すように、第 2 成分及び第 3 成分は、ピークを形成する第 1 成分と比較するとその寄与は僅かであり、これらの線量を正確に検出するためには多方向から線量に関するデータを集めなければならない。すなわち、非特許文献 1 に記載の方法には、膨大な回数のビーム照射試験を行わなければ大角度散乱成分の寄与を近似す

50

るパラメータを求めることができず、容易に側方線量分布を得ることができないという難点があった。

【0012】

本発明は前記状況に鑑みてなされたものであり、側方線量分布を容易に得ることのできる放射線測定装置、放射線測定方法及び電離箱を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

前記課題を解決した本発明は、放射線治療で照射される放射線を測定するための放射線測定装置であって、絶縁体を介して大きさの異なる複数の円環状の電極が同心円環状に設けられるとともに平板状を成し、その平面部が放射線の進行を妨げるようにして設けられる電離箱を備えたことを特徴とする放射線測定装置である。

10

【0014】

また、本発明は、前記した放射線測定装置で放射線の線量を検出する検出ステップと、前記検出ステップにて検出された線量と、予め登録された前記各電極の半径寸法と、を用いて前記放射線の側方線量分布を算出する側方線量分布算出ステップと、前記側方線量分布算出ステップにて算出した側方線量分布を用いて三次元線量分布を算出する三次元線量分布算出ステップと、を有することを特徴とする放射線測定方法である。

【0015】

さらに、本発明は、前記した放射線測定装置に用いられる電離箱であって、絶縁体を介して大きさの異なる複数の円環状の電極が同心円環状に設けられるとともに平板状を成し、その平面部がビームの進行を妨げるように設けられたことを特徴とする電離箱である。

20

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、側方線量分布を容易に得ることのできる放射線測定装置、放射線測定方法及び電離箱を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の一実施形態に係る放射線測定装置の構成を示す構成図である。

【図2】放射線測定装置1の変形例を示す構成図である。

【図3】本実施形態に係る電離箱2を用いて得られるレイリー分布形状の側方線量分布と、従来の電離箱を用いて得られるガウス分布形状の側方線量分布と、を比較して説明する図であって、(a)は、電離箱2により、各半径寸法 $r_1$ 、 $r_2$ ・・・ $r_C$ を有する各電極 $3_1$ 、 $3_2$ ・・・ $3_B$ で放射線Rの大角度散乱成分を検出する様子を示す概念図であり、(b)は、従来の電離箱を上下左右方向に動かして放射線Rの大角度散乱成分を検出する様子を示す概念図であり、(c)は、本実施形態に係る電離箱2で検出した線量から算出されるレイリー分布形状の側方線量分布と、従来の電離箱で検出した線量から算出されるガウス分布形状の側方線量分布と、を表したグラフである。なお、図3(c)の横軸は、横方向の位置[mm]を示し、縦軸は相対線量[%]を示す。図3(c)中の「R」が本実施形態に係る電離箱2で検出した線量から算出されるレイリー分布形状の側方線量分布を示し、「G」が従来の電離箱で検出した線量から算出されるガウス分布形状の側方線量分布を示す。

30

40

【図4】放射線測定装置1の変形例を示す構成図である。

【図5】放射線測定装置1の変形例を示す構成図である。

【図6】放射線測定装置1の変形例を示す斜視図である。

【図7】本発明の一実施形態に係る放射線測定方法のフローを説明するフローチャートである。

【図8】本発明の他の実施形態に係る放射線測定方法のフローを説明するフローチャートである。

【図9】放射線測定装置1の構成の変形例を示す構成図である。

【図10】単一エネルギー炭素線の側方線量分布を3つのガウス分布の重ね合わせにより

50

近似した場合の例を示すグラフである。図中、横軸は横方向の位置 [ mm ] を示し、縦軸は相対線量 [ % ] を示す。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、適宜図面を参照して本発明を実施するための形態（実施形態）について詳細に説明する。

〔放射線測定装置〕

図1は、本発明の一実施形態に係る放射線測定装置1の構成を示す構成図である。

図1に示す一実施形態に係る放射線測定装置1は、放射線治療で照射される放射線R（ビーム）を測定するために用いられる。この放射線測定装置1は、以下に説明する電離箱2を備えている。

【0019】

ここで、電離箱2が放射線Rを検出する基本原理は、いわゆる平行平板型電離箱、半導体検出器、ダイヤモンドディテクター、MOSFET（金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ）線量計、放射線感受性ゲル状線量計のいずれの形式も採用することができる。電離箱2は、これらの中でも平行平板型電離箱の形式を採用すると、構造が簡単で低コストであるため好ましい。電離箱2の放射線Rを検出する基本原理は前記したいずれの形式も採用し得るが、電極3の形状や配置は以下のようにする。

【0020】

電離箱2の電極3は、絶縁体4（各絶縁体 $4_1$ 、 $4_2$ ・・・ $4_A$ ）を介して大きさの異なる複数の円環状の電極3（各電極 $3_1$ 、 $3_2$ ・・・ $3_B$ ）を同心円環状となるように設けられている。そして、電離箱2は電極3を同心円環状となるように設けるとともに平板状を成し、その平面部5が放射線Rの進行を妨げるように、好ましくは、平面部5がビーム軸に対して垂直となるように設けられている。

【0021】

絶縁体4は、例えば、ガラスエポキシ、セラミックスなどを用いることができるがこれらに限定されるものではなく、電離箱に一般的に用いられている絶縁体であればどのようなものでも用いることができる。

【0022】

電離箱2は、例えば、前記した絶縁体4でなる平板上の支持板の表面に電極3の形状に即した溝部を設け、ここに二つの導電板（いわゆる放電極と集電極）が互いに平行となるように設けることで具現できる。また、電離箱2の構成はこれに限定されるものではなく、例えば、大きさの異なる複数の円環状の絶縁体4の間に、二つの電極3（いわゆる放電極と集電極）が互いに平行となるように設けることによっても具現できる。前者の構成の場合、製造が容易でありながら堅牢な構造であることから故障し難いため、後者の構成よりも好ましい。

【0023】

各電極 $3_1$ 、 $3_2$ ・・・ $3_B$ は同心に、つまり中心が同じとなるように設けられている。そのため、各電極 $3_1$ 、 $3_2$ ・・・ $3_B$ は、平面部5の中心位置Cからの半径寸法 $r$ （各半径寸法 $r_1$ 、 $r_2$ ・・・ $r_C$ ）を図示しない記憶手段等に予め記憶しておくことができる。なお、各電極 $3_1$ 、 $3_2$ ・・・ $3_B$ の幅寸法 $W_1$ は、例えば、1～5mmの範囲で任意に設定することができるがこれに限定されず、1mmよりも小さくすることも、5mmよりも大きくすることもできる。幅寸法 $W_1$ がこの範囲にあれば、電極3を十分な数をもって設置することができるので、正確な側方線量分布の算出が可能となる。また、幅寸法 $W_1$ がそれほど大きくないので、平面部5の中心位置Cから各電極 $3_1$ 、 $3_2$ ・・・ $3_B$ におけるそれぞれの円環の幅の中間位置までの寸法を前記半径寸法 $r$ として扱うことができる。そのため、側方線量分布の算出が容易になるという利点がある。なお、半径寸法 $r$ は、平面部5の中心位置Cから各電極 $3_1$ 、 $3_2$ ・・・ $3_B$ におけるそれぞれの円環の内側までの寸法や外側までの寸法としてもよい。これらの場合であっても前記と同様、前記半径寸法 $r$ として扱うことができ、側方線量分布の算出が容易になるという利点を享受することが

10

20

30

40

50

できる。

【0024】

各電極  $3_1$ 、 $3_2 \cdots 3_B$  の幅寸法  $W_1$  は、図 1 に示すように全てを同じとすることができるが、外側にいくほど段階的に（図 2 参照）又は連続的に大きくなるようにするのが好ましい。これらのようにすると、外側にいくほど電極の面積が大きくなるので、線量が低い側方線量分布に係る大角度散乱成分をより検出し易くすることができる。

【0025】

また、図示はしないがこれとは反対に、各電極  $3_1$ 、 $3_2 \cdots 3_B$  の幅寸法  $W_1$  を外側にいくほど段階的に又は連続的に小さくなるようにすることもできる。例えば、ビームサイズ（ビームの直径）が大きく、外側の電極 3 によって電離箱 2 の中心付近よりも 100 10  
0 倍以上の強度の線量が検出されるような場合、かえって大角度散乱成分の検出が困難になる可能性がある。しかしながら、前記したように、各電極  $3_1$ 、 $3_2 \cdots 3_B$  の幅寸法  $W_1$  を外側にいくほど段階的に又は連続的に小さくなるようにすることで大角度散乱成分を適切に検出することが可能となる。

【0026】

各絶縁体  $4_1$ 、 $4_2 \cdots 4_A$  の幅寸法  $W_2$  は、例えば、1 ~ 5 mm の範囲で任意に設定することができるがこれに限定されず、1 mm よりも小さくすることも、5 mm よりも大きくすることもできる。

【0027】

そして、各絶縁体  $4_1$ 、 $4_2 \cdots 4_A$  の幅寸法  $W_2$  も図 1 に示すように全てを同じとす 20  
ることができるが、外側にいくほど段階的に（図 2 参照）又は連続的に大きくなるようにすることも、小さくなるようにすることもできる。各絶縁体  $4_1$ 、 $4_2 \cdots 4_A$  の幅寸法  $W_2$  を大きくした場合は、電離箱 2 のチャンネル数に限りがある場合に、電極 3 の間隔が開くため、より広い領域の線量を検出することができるようになる。また、各絶縁体  $4_1$ 、 $4_2 \cdots 4_A$  の幅寸法  $W_2$  を小さくした場合は、隣り合う電極 3 が近くなり、急激な線量分布の変化を検出することができるようになる。

【0028】

さらに、各電極  $3_1$ 、 $3_2 \cdots 3_B$  の幅寸法  $W_1$  と各絶縁体  $4_1$ 、 $4_2 \cdots 4_A$  の幅寸法  $W_2$  は、全ての電極 3 及び絶縁体 4 の幅寸法を同じにしてもよく、また、外側にいくにつれて一方の幅寸法を段階的に又は連続的に大きくし、他方の幅寸法を段階的に又は連続的 30  
に小さくするようにしてもよい。

【0029】

前記した電離箱 2 を備えた放射線測定装置 1 によれば、1 つあたりの電極 3 の面積が従来の一次元検出器や二次元検出器よりも大きい。電離箱 2 の中心位置 C から離れた円環状の電極 3 の検出効率は、円周が長くなる（つまり、検出面積が増大する）のに比例して向上する。そのため、従来の電極では寄与が僅かであるために検出が困難であった大角度散乱成分の検出が容易となる。

【0030】

また、放射線測定装置 1 は、大きさの異なる複数の円環状の電極 3 を同心円環状に設けた電離箱 2 を備えているので、放射線 R の大角度散乱成分を検出した位置を各電極  $3_1$ 、 40  
 $3_2 \cdots 3_B$  の各半径寸法  $r_1$ 、 $r_2 \cdots r_C$  として表すことができる。

そして、この各半径寸法  $r_1$ 、 $r_2 \cdots r_C$  と、大角度散乱成分の線量と、を 方向に（円周方向に）積分して得られる側方線量分布はレイリー分布形状となる。つまり、電極 3 で検出した放射線 R の大角度散乱成分は、当該電極 3 を円環状としているためレイリー分布で表される。

【0031】

従って、放射線測定装置 1 では、側方線量分布を下記式（1）で算出することができる。なお、式（1）中の  $f(r)$  は側方線量分布を示す。

【0032】

## 【数 1】

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad \dots (1)$$

(式 (1) 中、 $r$  は半径寸法であり、  
 $\sigma$  は半径寸法  $r$  におけるビームサイズの標準偏差である。)

## 【0033】

ここで、図 3 を参照して式 (1) で用いられているパラメータが、ガウス分布に関する関数で用いられるパラメータと対応していることについて説明する。 10

## 【0034】

図 3 は、本実施形態に係る電離箱 2 を用いて得られるレイリー分布形状の側方線量分布と、従来の電離箱を用いて得られるガウス分布形状の側方線量分布と、を比較して説明する図であって、(a) は、電離箱 2 により、各半径寸法  $r_1$ 、 $r_2$ 、 $\dots$ 、 $r_c$  を有する各電極  $3_1$ 、 $3_2$ 、 $\dots$ 、 $3_B$  で放射線 R の大角度散乱成分を検出する様子を示す概念図であり、(b) は、従来の電離箱を上下左右方向に動かして放射線 R の大角度散乱成分を検出する様子を示す概念図であり、(c) は、本実施形態に係る電離箱 2 で検出した線量から算出されるレイリー分布形状の側方線量分布と、従来の電離箱で検出した線量から算出されるガウス分布形状の側方線量分布と、を表したグラフである。なお、図 3 (c) の横軸は、横方向の位置 [mm] を示し、縦軸は相対線量 [%] を示す。図 3 (c) 中の「R」が本実施形態に係る電離箱 2 で検出した線量から算出されるレイリー分布形状の側方線量分布を示し、「G」が従来の電離箱で検出した線量から算出されるガウス分布形状の側方線量分布を示す。 20

## 【0035】

図 3 (c) に示すような、ある深さでのガウス分布形状で表される側方線量分布 G を近似する式  $f(x, y)$  は、中心位置 C を  $(x, y) = (0, 0)$  とした場合、下記式 (2) で表すことができる。

## 【0036】

## 【数 2】

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad \dots (2)$$

(式 (2) 中、 $\sigma$  は位置  $(x, y)$  におけるビームサイズの標準偏差であり、  
 $x$  は横方向 (X 軸方向) の位置を示し、 $y$  は縦軸方向 (Y 軸方向) の位置を示す。)

## 【0037】

従来の電離箱で検出された線量を簡略的に横方向 (X 軸方向) のみで考えると、式 (2) は下記式 (3) のようになる。なお、一次元検出器で検出する場合はこれに相当する。 40

## 【0038】

## 【数 3】

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad \dots (3)$$

(式 (3) 中、 $\sigma$  は位置  $(x)$  におけるビームサイズの標準偏差であり、  
 $x$  は横方向 (X 軸方向) の位置を示す。)

## 【0039】

図3(c)に示されているガウス分布形状の側方線量分布Gは、式(3)を横方向(X軸方向)方向の所定の幅dxで積分したものである。

【0040】

一方で、位置 $(x, y) = (r \cos \theta, r \sin \theta)$ とし、前記式(2)を $\theta$ 方向に(円周方向に)積分すると前記式(1)となる。なお、円環状の電極3を備えた電離箱2で検出する場合がこれに相当する。

【0041】

レイリー分布とガウス分布はともに連続型の確率分布である。そのため、レイリー分布を表す式(1)と、ガウス分布を表す式(2)及び式(3)とを見て分かるように、式(1)で用いられているパラメータは、ガウス分布に関する関数(式(2)、式(3))で用いられるパラメータに対応している。

10

従って、ガウス分布に基づいて線量計算を行う従来の線量計算法に電離箱2を備えた放射線測定装置1で検出されるレイリー分布形状の側方線量分布Rで用いられるパラメータを適用することにより、三次元線量分布を容易に算出(予測)することができる。

【0042】

図1、図2に戻って電極3の形状についての説明を続ける。

電極3はさらに、各電極 $3_1, 3_2 \dots 3_B$ の放射線Rの大角度散乱成分が入射する入射面の面積(円環の面積や円環の幅などと言い換えることもできる。)は、外側にいくにつれて段階的に又は連続的に増大させるのが好ましい。このようにすると、前記したように検出面積が増大するので線量が低い大角度散乱成分をより検出し易くすることができる。しかし、各電極 $3_1, 3_2 \dots 3_B$ の放射線Rの大角度散乱成分が入射される面の面積はこれに限定されず、外側にいくにつれて段階的に又は連続的に小さくなるようにしてもよく、また、同じとなるようにしてもよい。

20

【0043】

なお、各電極 $3_1, 3_2 \dots 3_B$ の放射線Rの大角度散乱成分が入射される面の面積を同じとした場合、面積が一定であるのでガウス分布形状の側方線量分布が得られる。そのため、従来同様、ガウス分布に基づいて線量計算を行う線量計算法に容易に適用できるという利点がある。

また、例えば、ビームサイズ(ビームの直径)が大きく、外側の電極3によって電離箱2の中心付近よりも1000倍以上の強度の線量が検出されるような場合、かえって大角度散乱成分の検出が困難になる可能性があるが、前記したように各電極 $3_1, 3_2 \dots 3_B$ の放射線Rの大角度散乱成分が入射する入射面の面積を外側にいくほど段階的に又は連続的に小さくなるようにすることで大角度散乱成分を適切に検出することが可能となる。

30

【0044】

さらに、図4に示すように、電離箱2は、電離箱2の平面部5の中心位置Cに直径約0.4~2mm程度の円形の電離箱6を設けるのが好ましい。このようにすると、円形の電離箱6によって線量分布のピークを探ことができ、放射線Rの中心軸(ビーム軸)と電離箱2の中心位置Cのずれを防ぐことが可能となる。そのため、得られる線量分布の形状が変化してしまうのを防ぐことができる。またこれにより、大角度散乱成分を近似するパラメータの変動を防ぎ、測定誤差を低減させることが可能となる。

40

【0045】

なお、この場合も前記したように、各電極 $3_1, 3_2 \dots 3_B$ の幅寸法W1及び各絶縁体 $4_1, 4_2 \dots 4_A$ の幅寸法W2を図4に示すように全てを同じとすることもでき、外側にいくほど段階的に若しくは連続的に大きく(図5参照)又は小さく(不図示)なるようにすることができることは言うまでもない。このような形態にて得られる効果は既に述べたとおりであるので、ここでの説明は省略する。

【0046】

以上に説明した放射線測定装置1によれば、同心円環状の電極3が設けられた電離箱2を備えているので、従来検出することが困難であった僅かな大角度散乱成分による寄与を容易に検出することができる。そのため、後述するように、側方線量分布を算出すること

50

ができるとともに、大角度散乱成分による寄与を予測できるパラメータを得ることが可能となる。また、これにより三次元線量計算の精度向上を図ることが可能となる。さらに、放射線測定装置 1 によれば、1つの照射位置（スポット）に照射したビームの側方線量分布を1回の照射で容易に検出できることから従来のように膨大な回数のビーム照射試験を行う必要がなく、側方線量分布を把握するための作業負担及び作業時間を大幅に軽減することができる。

#### 【0047】

なお、放射線測定装置 1 は、図 1、2、4、5 に示すように、前記した構成以外に、例えば、側方線量分布算出手段 7 と三次元線量分布算出手段 8 をさらに備えることができる。

10

#### 【0048】

この側方線量分布算出手段 7 は、電極 3 のそれぞれと接続され、各電極  $3_1$ 、 $3_2$ ・・・ $3_B$  で検出された放射線 R の大角度散乱成分の線量と、予め登録された各電極  $3_1$ 、 $3_2$ ・・・ $3_B$  の半径寸法  $r$ 、すなわち、各半径寸法  $r_1$ 、 $r_2$ ・・・ $r_C$  と、を用いて放射線 R の側方線量分布を算出する。なお、

このようにして算出される側方線量分布は、前記したようにレイリー分布形状となる。従って、側方線量分布算出手段 7 における側方線量分布は、前記した理由と同様の理由により、式 (1) で算出することができる。

#### 【0049】

また、三次元線量分布算出手段 8 は、側方線量分布算出手段 7 にて算出した側方線量分布を用いて三次元線量分布を算出する。より具体的には、側方線量分布算出手段 7 にて算出した側方線量分布のパラメータを用いて三次元線量分布を算出する。

20

三次元線量分布算出手段 8 における三次元線量分布の算出は、例えば、モンテカルロ法やペンシルビーム法などの公知の手法によって行うことができる。また、例えば、特開 2010-32419 号公報に記載された方法などによって行うこともできる。

#### 【0050】

前記した側方線量分布算出手段 7 と三次元線量分布算出手段 8 は、例えば、CPU が図示しない記憶手段に記憶された側方線量分布算出手段 7 の内容と三次元線量分布算出手段 8 の内容を実施する所定のプログラムを読み込み、解釈してその内容を実行させることによって具現することができる。なお、記憶手段には各種のデータや、側方線量分布算出手段 7 及び三次元線量分布算出手段 8 以外の内容を実行するプログラムの記憶させておくことができ、また、これらを任意に読み出すことができる。

30

#### 【0051】

さらに、図 6 に示すように、放射線測定装置 1 は、電離箱 2 をビーム軸と平行な第 1 軸（いわゆる深さ方向；Z 軸）に沿って移動させる第 1 移動手段 9 と、電離箱 2 を第 1 軸に対して垂直な第 2 軸（いわゆる横軸方向；X 軸）に沿って移動させる第 2 移動手段 10 と、電離箱 2 を第 1 軸及び第 2 軸に対して直角な第 3 軸（いわゆる縦軸方向；Y 軸）に沿って移動させる第 3 移動手段 11 とをさらに備えているのが好ましい。第 1 移動手段 9、第 2 移動手段 10 及び第 3 移動手段 11 としては、例えば、サーボモータ、ステッピングモータなどを用いることができる。

40

#### 【0052】

図 6 を参照して第 1 移動手段 9、第 2 移動手段 10 及び第 3 移動手段 11 について説明する。

図 6 に示すように、第 1 移動手段 9 は、図中 Z 軸方向に 2 つ設けられた柱材 12、12 の間に架設された架設材 13 に、Z 軸に沿って移動可能に設けられている。そして、第 1 移動手段 9 は、架設材 13 に対して垂直且つ水平な方向に（X 軸方向に）延設された第 1 延設材 14 を有している。

第 2 移動手段 10 は、この第 1 延設材 14 に、X 軸に沿って移動可能に設けられている。そして、第 2 移動手段 10 は、第 1 延設材 14 に対して垂直且つ水平な方向に（Z 軸方向に）延設された第 2 延設材 15 を有している。

50

第3移動手段11は、この第2延設材15の先端に、Y軸に沿って移動可能に設けられている。そして、第3移動手段11の先端に電離箱2が取り付けられている。

【0053】

従って、放射線測定装置1は、第1移動手段9、第2移動手段10及び第3移動手段11によって電離箱2の三次元の移動を自在に行うことが可能となる。そのため、放射線測定装置1は、例えば、水ファントムWP内の任意の箇所の線量の測定が可能となるだけでなく、前記したように円形の電離箱6によって線量分布のピークを探ことができ、放射線Rの中心軸(ビーム軸)と電離箱2の中心位置Cのずれを防ぐことが可能となる。

【0054】

〔放射線測定方法〕

次に、本発明の一実施形態に係る放射線測定方法について説明する。

一実施形態に係る放射線測定方法は、図7に示すように、検出ステップS2と、側方線量分布算出ステップS3と、三次元線量分布算出ステップS5を有し、これらのステップをこの順に行う。なお、側方線量分布算出ステップS3は前記した側方線量分布算出手段7と対応し、三次元線量分布算出ステップS5は前記した三次元線量分布算出手段8と対応する。以下、これらのステップについて説明する。

【0055】

検出ステップS2は、放射線測定装置1で放射線R及び放射線Rの大角度散乱成分の線量を検出するステップである。前記したように、放射線測定装置1は、各電極 $3_1$ 、 $3_2$ ・ $3_B$ が設けられた電離箱2を有しているため、電離箱2の各電極 $3_1$ 、 $3_2$ ・ $3_B$ により放射線Rの大角度散乱成分の線量が検出される。なお、主として小角度散乱成分が寄与して得られる放射線Rの線量分布のピークは、一般的に用いられる一次元検出器や二次元検出器などを用いて検出することができる。なお、前記したように電離箱5が円形の電離箱6を備えている場合は、当該円形の電離箱6によって検出することができる。

【0056】

次いで行う側方線量分布算出ステップS3は、検出ステップS2にて検出された各電極 $3_1$ 、 $3_2$ ・ $3_B$ に係る放射線R及び/又は放射線Rの大角度散乱成分の線量と、予め登録された各電極 $3_1$ 、 $3_2$ ・ $3_B$ の半径寸法 $r_1$ 、 $r_2$ ・ $r_C$ と、を用いて放射線Rの側方線量分布を算出するステップである。

側方線量分布算出ステップS3で算出される側方線量分布は、側方線量分布算出手段7で説明したようにレイリー分布形状となる。従って、式(1)に基づいて算出することができる。

【0057】

次いで行う三次元線量分布算出ステップS5は、側方線量分布算出ステップS3にて算出した側方線量分布を用いて三次元線量分布を算出するステップである。三次元線量分布算出ステップS5は、三次元線量分布算出手段8で説明したように、モンテカルロ法などによって算出することができる。

【0058】

前記した側方線量分布算出ステップS3及び三次元線量分布算出ステップS5は、例えば、CPUが記憶手段に記憶された所定のプログラムを読み込み、解釈してそれぞれの内容を実行させることによって具現することができる。

【0059】

以上に説明した放射線測定方法によれば、検出ステップS2において前記した放射線測定装置1で放射線Rの大角度散乱成分の線量を検出するので、従来検出することが困難であった僅かな大角度散乱成分による寄与を容易に検出することができる。そのため、側方線量分布算出ステップS3で側方線量分布を算出できるとともに、大角度散乱成分による寄与を予測できるパラメータを得ることができる。そのため、次いで行う三次元線量分布算出ステップS5にて算出される三次元線量分布の精度向上を図ることができる。

【0060】

10

20

30

40

50

また、以上に説明した放射線測定方法は、図 8 に示すように、前記したステップの前又は後にこれら以外のステップを有してもよい。なお、図 8 は、本発明の他の実施形態に係る放射線測定方法のフローを説明するフローチャートである。この図 8 には、以下に説明するシミュレーションステップ S 1 から第 2 比較ステップ S 6 までのすべてのステップが示されているが、検出ステップ S 2、側方線量分布算出ステップ S 3 及び三次元線量分布算出ステップ S 5 以外のステップは任意に省略することができる。

【 0 0 6 1 】

他の実施形態に係る放射線測定方法としては、図 8 に示すように、例えば、検出ステップ S 2 の前に、放射線測定装置 1 を使用するにあたり、必要なビーム強度や条件等を変えて測定値を予測するシミュレーションステップ S 1 を有するようにしてもよい。

10

【 0 0 6 2 】

また、例えば、図 8 に示すように、側方線量分布算出ステップ S 3 と三次元線量分布算出ステップ S 5 の間に、シミュレーションステップ S 1 で予測した測定値と、検出ステップ S 2 で検出した線量とを比較し、所定の条件を満たしているか確認する第 1 比較ステップ S 4 を有するようにしてもよい。なお、第 1 比較ステップ S 4 における所定の条件としては、例えば、ビームサイズやビームを構成する成分の割合が予想される範囲内であるかなどを挙げることができる。

【 0 0 6 3 】

さらに、例えば、図 8 に示すように、三次元線量分布算出ステップ S 5 の後に、三次元線量分布算出ステップ S 5 で算出した三次元線量分布をモンテカルロ法や単一ガウス近似を用いた場合と比較し、所定の条件を満たしているか確認する第 2 比較ステップ S 6 を有するようにしてもよい。なお、第 2 比較ステップ S 6 における所定の条件としては、例えば、三次元線量分布の実測値と計算値の間に予期せぬ誤差がないかなどを挙げることができる。

20

【 0 0 6 4 】

〔電離箱〕

次に、本発明の一実施形態に係る電離箱について説明する。

一実施形態に係る電離箱 2 は、図 1 を参照して説明したように、放射線測定装置 1 に用いられる。具体的には、電離箱 2 は、図 1 を参照して既に説明しているように、絶縁体 4 (各絶縁体  $4_1$ 、 $4_2$ ・・・ $4_A$ ) を介して大きさの異なる複数の円環状の電極 3 (各電極  $3_1$ 、 $3_2$ ・・・ $3_B$ ) が同心円環状に設けられるとともに平板状を成している。そして、電離箱 2 の平面部 5 が放射線 R (ビーム) の進行を妨げるように設けられて使用される。

30

【 0 0 6 5 】

また、この電離箱 2 は、図 1 を参照して既に説明しているように、各電極  $3_1$ 、 $3_2$ ・・・ $3_B$  の幅寸法 W 1 及び各絶縁体  $4_1$ 、 $4_2$ ・・・ $4_A$  の幅寸法 W 2 を全て同じ寸法とすることができるが、外側にいくほど段階的に (図 2 参照) 又は連続的に大きく又は小さくなるようにすることもできる。

【 0 0 6 6 】

また、既に説明しているように、電離箱 2 は、電離箱 2 の平面部 5 の中心位置 C に円形の電離箱 6 を設けるのが好ましい。このようにすると、円形の電離箱 6 によって線量分布のピークを探すことができ、放射線 R の中心軸 (ビーム軸) と電離箱 2 の中心位置 C のずれを防ぐことが可能となる。そのため、得られる線量分布の形状が変化してしまうを防ぐことが可能となる。その結果、大角度散乱成分を近似するパラメータの変動を防ぎ、測定誤差を低減させることが可能となる。

40

【 0 0 6 7 】

なお、この場合も前記したように、各電極  $3_1$ 、 $3_2$ ・・・ $3_B$  の幅寸法 W 1 及び各絶縁体  $4_1$ 、 $4_2$ ・・・ $4_A$  の幅寸法 W 2 を図 3 に示すように全てを同じとすることもでき、外側にいくほど段階的に (図 4 参照) 若しくは連続的に大きく又は小さくなるようにすることができることは言うまでもない。このようにして得られる効果等については既に述べたとおりであるので、ここでの説明は省略する。

50

## 【 0 0 6 8 】

なお、電離箱 2 の奥行き寸法は、例えば、30 ~ 60 mm とすることができるが、これは任意に設定することができ、この範囲に限定されるものではない。

また、電極 3 を構成する二つの導電板（いわゆる放電極と集電極）は、1 ~ 10 mm 離間させて設けるのが好ましい。放電極と集電極をこの範囲で設けると、放射線によって電離されるイオン対の量を増やしつつ、電離したイオン対が再結合する前に集電極で集電することが容易となり、線量の検出を適切に行うことが可能となる。放電極と集電極の距離は任意に設定することができるものであり、この範囲に限定されるものではない。

## 【 0 0 6 9 】

以上、発明を実施する形態により、本発明の内容について詳細に説明したが、本発明は前記した内容に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。

10

## 【 0 0 7 0 】

そのような変形例として、例えば、図 9 に記載のものが挙げられる。図 9 は、放射線測定装置 1 の構成の変形例を示す構成図である。図 9 に示す放射線測定装置 1 は、電極 3 を所定の角度をもって放射状に分割している（以下、分割された電極 3 を電極 3 d と呼ぶ。）。図 9 では、電極 3 d を 45 ° の角度で分割しているが、30 °、60 ° や 90 ° などの任意の角度で分割することもできる。電極 3 の分割は、絶縁体 4 によって行うのが好ましい。このようにして形成された電極 3 d を備えると、側方線量分布に方向特異性があつた場合などにこれを正確に把握し、より正確な三次元線量分布を算出することが可能となる。また、電極 3 d が故障した場合であっても当該故障した電極 3 d のみを取替えたり、修理したりすればよく、円環状の電極 3 全体を取り替える場合と比較してコスト及び手間を軽減することができる。

20

## 【 0 0 7 1 】

また、前記した実施形態は本発明を分かり易く説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成を加えることも可能である。また、各実施形態の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

## 【 0 0 7 2 】

さらに、前記の各構成、機能、処理部、処理手段等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現してもよい。また、前記の各構成、機能等はプロセッサがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈し、実行することによりソフトウェアで実現してもよい。各機能を実現するプログラム、テーブル、ファイル等の情報は、メモリや、ハードディスク、SSD (Solid State Drive) 等の記録装置、または、ICカード、SDカード、DVD等の記録媒体に置くことができる。

30

また、制御線や情報線は説明上必要と考えられるものを示しており、装置上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。実際には殆ど全ての構成が相互に接続されていると考えてもよい。

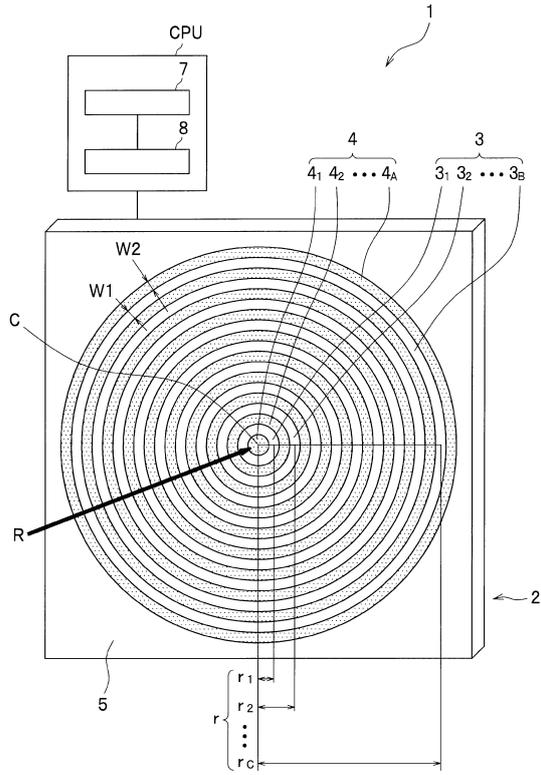
## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 7 3 】

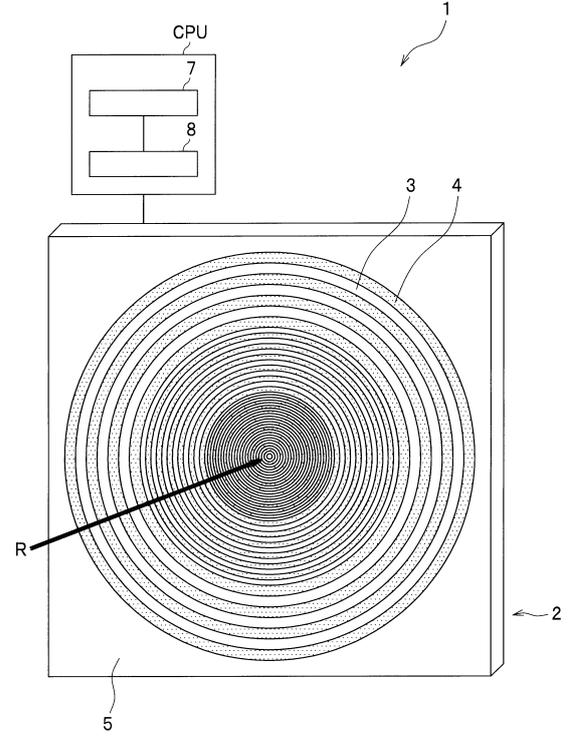
- 1 放射線測定装置
- 2 電離箱
- 3 電極
- 4 絶縁体
- 5 平面部
- S 2 検出ステップ
- S 3 側方線量分布算出ステップ
- S 5 三次元線量分布算出ステップ

40

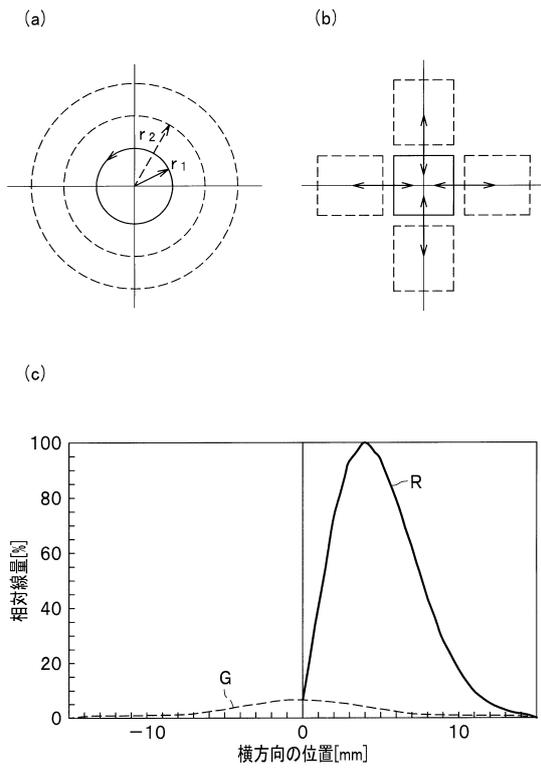
【図1】



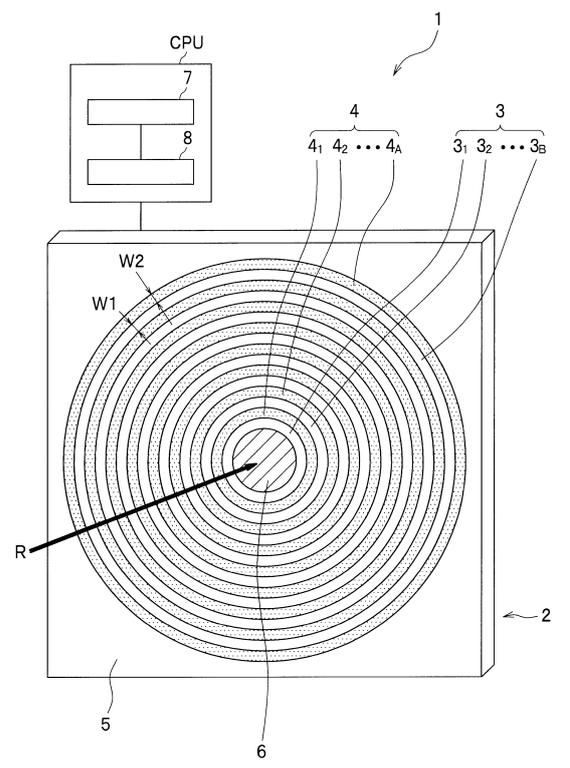
【図2】



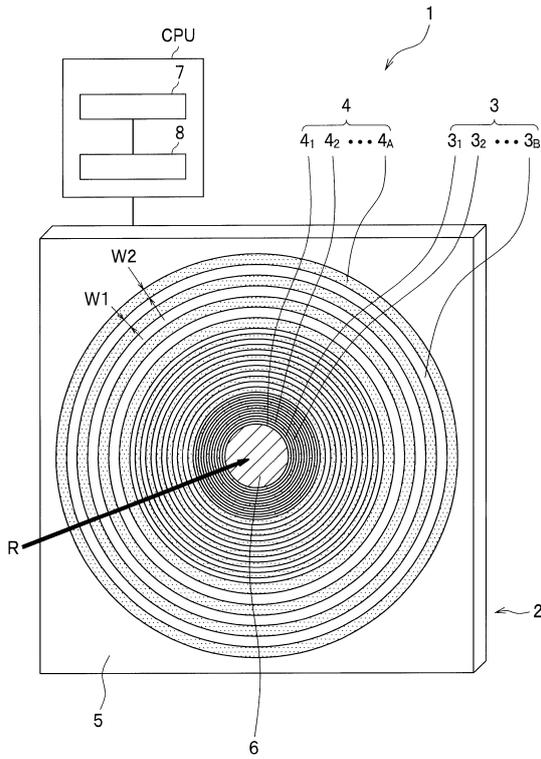
【図3】



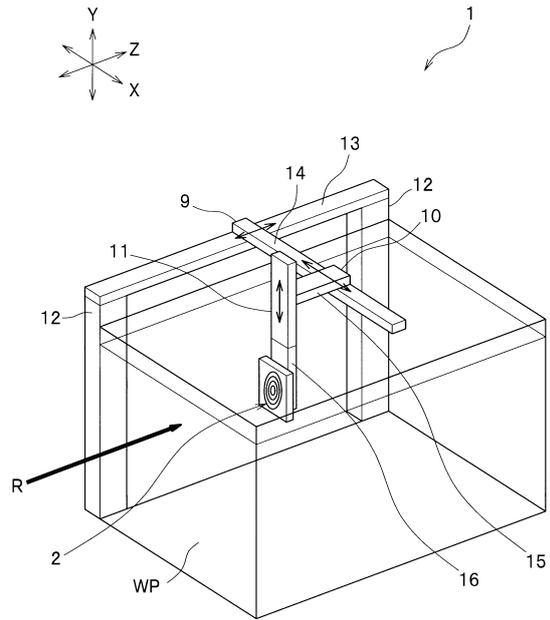
【図4】



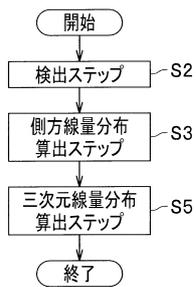
【図5】



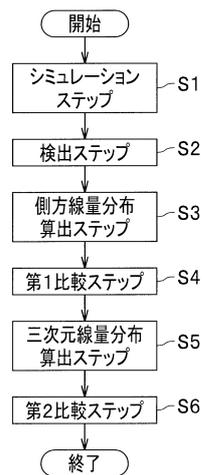
【図6】



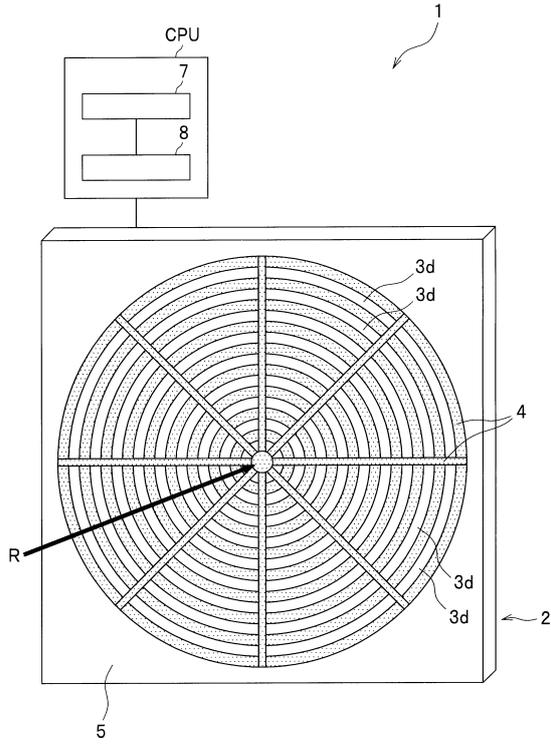
【図7】



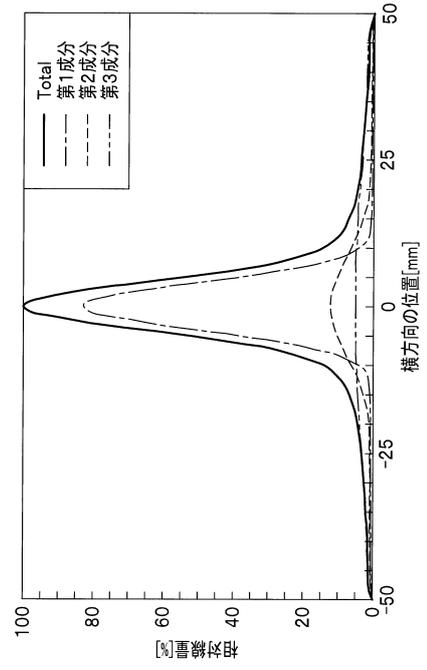
【図8】



【図9】



【図10】



## 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 独立行政法人放射線医学総合研究所内
- (72)発明者 水島 康太  
千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内
- (72)発明者 稲庭 拓  
千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内

審査官 藤本 加代子

- (56)参考文献 特開2011-153833(JP,A)  
特開2004-361283(JP,A)  
特開2010-032419(JP,A)  
特開昭55-018989(JP,A)  
特開昭48-006513(JP,A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01T 1/18  
G01T 1/185  
G01T 1/29  
H01J 47/00-47/26  
JSTPlus(JDreamIII)