

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7165688号

(P7165688)

(45)発行日 令和4年11月4日(2022.11.4)

(24)登録日 令和4年10月26日(2022.10.26)

(51)国際特許分類

A 6 1 N 5/10 (2006.01)

F I

A 6 1 N

5/10

P

A 6 1 N

5/10

D

請求項の数 13 (全16頁)

(21)出願番号	特願2019-571053(P2019-571053)	(73)特許権者	516027694
(86)(22)出願日	平成30年6月26日(2018.6.26)		レイサーチ ラボラトリーズ, エービー
(65)公表番号	特表2020-525103(P2020-525103 A)		スウェーデン国, 1 0 3 6 5 ストック ホルム, スヴェアヴェーゲン 4 4
(43)公表日	令和2年8月27日(2020.8.27)	(74)代理人	100114775
(86)国際出願番号	PCT/EP2018/067127		弁理士 高岡 亮一
(87)国際公開番号	WO2019/002302	(74)代理人	100121511
(87)国際公開日	平成31年1月3日(2019.1.3)		弁理士 小田 直
審査請求日	令和3年6月25日(2021.6.25)	(74)代理人	100202751
(31)優先権主張番号	17179031.4		弁理士 岩堀 明代
(32)優先日	平成29年6月30日(2017.6.30)	(74)代理人	100191086
(33)優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁(EP)		弁理士 高橋 香元
		(72)発明者	イングウォール, エリック
			スウェーデン国, 1 2 9 4 4 ヘーゲル ステン, ヒンダースマスグランド 7
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ユーザ構成に基づくイオンビーム治療のための可変サイズのスポットの分布の決定

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

標的体積(3)内にスポットを提供するためのイオンビーム治療を伴う使用のためのスポットの分布を決定するための方法であって、各スポットは、特定の横方向位置における特定のエネルギーレベルおよび特定のサイズのイオンの集合体を表し、前記方法は、コンピュータソフトウェアによって指令される治療計画システム(1)によって自動的に行われ、前記方法は、

ブラッグピークの位置における最大のスポットサイズを定める少なくとも1つのスポットサイズ戦略を含むユーザ構成(69)に基づいて前記標的体積(3)を複数の標的部分(6a~c)に分割する工程(40)と、

前記複数の標的部分のそれぞれの位置に基づいてスポットサイズ戦略を前記標的部分(6a~c)のそれぞれ1つに割り当てる工程(42)と、

各標的部分(6a~c)内でそのスポットサイズ戦略に従ってスポットを決定する工程(44)と、

を含み、

前記標的体積を分割する工程(40)は、前記標的体積(3)の縁部(4)とリスクマージン(8)との間のリスク標的部分(6c)を定めることを含み、前記リスクマージン(8)は、前記ユーザ構成(69)内のパラメータに対応し、前記パラメータは、リスクのある臓器(10)に関するマージンを定める、方法。

## 【請求項 2】

前記スポットを決定する工程（４４）は、前記スポットのためのそれぞれのビーム経路が通過する患者の組織に基づいて、それぞれ予期されるスポットのためのスポットサイズを決定することを含む、請求項１に記載の方法。

【請求項３】

前記標的体積を複数の標的部分に分割する工程（４０）は、内側マージン（７）内部の内側標的部分（６ａ）を定めること、および前記標的体積の縁部（４）と前記内側マージンとの間の外側標的部分（６ｂ）を定めることを含み、前記内側マージン（７）は、前記ユーザ構成（６９）内のパラメータに対応し、前記パラメータは、前記標的体積（３）の縁部（４）に関するマージンを定める、請求項１または２に記載の方法。

【請求項４】

前記標的体積を複数の標的部分に分割する工程（４０）は、それぞれの内側マージン（７ａ～ｂ）によって互いに区切られている標的体積内の複数の標的部分を定めることを含み、前記内側マージン（７ａ～ｂ）は、前記ユーザ構成（６９）内のパラメータに対応し、前記パラメータは、前記標的体積（３）の縁部（４）に関するそれぞれのマージンを定める、請求項１または２に記載の方法。

【請求項５】

前記リスク標的部分（６ｃ）のためのスポットサイズ戦略は最も小さい利用可能なスポットサイズを使用することである、請求項１乃至４のいずれか１項に記載の方法。

【請求項６】

前記標的体積を分割する工程（４０）は、前記ユーザ構成（６９）において定められた標的部分の幾何学的形状に従って前記標的体積（３）を標的部分（６ａ～ｃ）に分割することを含む、請求項１または２に記載の方法。

【請求項７】

前記ユーザ構成（６９）は、特定のスポットサイズを定める少なくとも１つのスポットサイズ戦略を含む、請求項１乃至６のいずれか１項に記載の方法。

【請求項８】

前記スポットの少なくともいくつかで前記ブラッグピークの位置における最大のスポットサイズを超えている場合であっても、全てのスポットが最も小さい利用可能なスポットサイズ設定に設定される、請求項１乃至７のいずれか１項に記載の方法。

【請求項９】

前記ユーザ構成（６９）は、ブラッグピークの位置における最小のスポットサイズを定める少なくとも１つのスポットサイズ戦略を含む、請求項１乃至８のいずれか１項に記載の方法。

【請求項１０】

前記スポットの少なくともいくつかで前記ブラッグピークの位置における最小のスポットサイズに到達していない場合であっても、全てのスポットが最も大きい利用可能なスポットサイズ設定に設定される、請求項９に記載の方法。

【請求項１１】

標的体積（３）内にスポットを提供するためのイオンビーム治療と共に使用するためのスポットの分布を決定するための治療計画システム（１）であって、各スポットは、特定の横方向位置における特定のエネルギーレベルのおよび特定のスポットサイズのイオンの集合体を表し、前記治療計画システム（１）は、

プロセッサ（６０）と、

前記プロセッサによって実行された場合に前記治療計画システム（１）に、ブラッグピークの位置における最大のスポットサイズを定める少なくとも１つのスポットサイズ戦略を含むユーザ構成（６９）に基づいて前記標的体積（３）を複数の標的部分（６ａ～ｃ）に分割させ、

前記それぞれの標的部分の位置に基づいてスポットサイズ戦略を前記標的部分（６ａ～ｃ）のそれぞれ１つに割り当てさせ、

各標的部分（６ａ～ｃ）内でそのスポットサイズ戦略に従ってスポットを決定させる

10

20

30

40

50

命令（６７）を格納するメモリ（６４）と、  
を備え、

前記命令（６７）は、さらに、前記治療計画システム（１）に、前記標的体積（３）の縁部（４）とリスクマージン（８）との間のリスク標的部分（６ｃ）を定めさせ、前記リスクマージン（８）は、前記ユーザ構成（６９）内のパラメータに対応し、前記パラメータは、リスクのある臓器（１０）に関するマージンを定める、治療計画システム（１）。

【請求項１２】

標的体積（３）内にスポットを提供するためのイオンビーム治療と共に使用するためのスポットの分布を決定するためのコンピュータプログラム（６７、９１）であって、各スポットは、特定の横方向位置における特定のエネルギーレベルのおよび特定のスポットサイズのイオンの集合体を表し、前記コンピュータプログラムは、前記治療計画システム（１）で実行される場合に、前記治療計画システム（１）に、

ブラッグピークの位置における最大のスポットサイズを定める少なくとも１つのスポットサイズ戦略を含むユーザ構成（６９）に基づいて前記標的体積（３）を複数の標的部分（６ａ～ｃ）に分割させ、

前記それぞれの標的部分の位置に基づいてスポットサイズ戦略を前記標的部分（６ａ～ｃ）のそれぞれ１つに割り当てさせ、かつ

各標的部分（６ａ～ｃ）内でそのスポットサイズ戦略に従ってスポットを決定させるコンピュータプログラムコードを含み、

前記コンピュータプログラムコードは、さらに、前記治療計画システム（１）に、前記標的体積（３）の縁部（４）とリスクマージン（８）との間のリスク標的部分（６ｃ）を定めさせ、前記リスクマージン（８）は、前記ユーザ構成（６９）内のパラメータに対応し、前記パラメータは、リスクのある臓器（１０）に関するマージンを定める、コンピュータプログラム。

【請求項１３】

請求項１２に記載のコンピュータプログラムおよび前記コンピュータプログラムが格納されているコンピュータ可読手段を含むコンピュータプログラム製品（６４、９０）。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、標的体積内にスポットを提供するためにイオンビーム治療と共に使用するための可変サイズのスポットの分布のための方法、治療計画システム、コンピュータプログラムおよびコンピュータプログラム製品に関する。スポットの分布およびサイズはユーザ構成に基づいて決定される。

【背景技術】

【０００２】

イオンビーム治療では、イオン（例えばプロトンまたはイオン）のビームが標的体積に向かって方向づけられる。標的体積は例えば癌腫瘍を表すことができる。それらの粒子は組織を透過し、細胞死を誘導するためのエネルギーの線量を送達する。イオンビーム治療の利点は、ブラッグピークとして知られている線量分布における顕著なピークが存在することである。ブラッグピークは特定の深さで生じる線量送達のピークであり、その後に線量送達は急激に減少する。これは、最大線量が常に浅い深さで生じ、かつ遠位での線量減少をイオン治療の場合と同じ急激な減少により制御することができない電子線治療またはＸ線治療と比較することができる。

【０００３】

患者におけるブラッグピークの深さは粒子の運動エネルギーを調整することによって制御することができる。横方向位置は、その焦点ビームを偏向させるための電磁石を用いて制御することができる。これにより、患者の体内の良好に制御された位置への非常に局所化された線量の送達が可能になる。運動エネルギーとビームの横方向への偏向との特定の組み合わせにより送達される線量はスポットと呼ばれる。スポットに送達される粒子の数

10

20

30

40

50

は一般にスポット重量と呼ばれる。三次元空間内の多くの異なる位置にスポットを提供することによって標的体積を所望の線量分布で覆うことができる。スポットの運動エネルギーは多くの場合、必ずしもではないが、多くの離散的エネルギーのために分布される。同じ運動エネルギーを有するが異なる横方向への偏向を有するスポットのグループはエネルギー層と呼ばれることが多い。この手順はペンシルビームスキャニングとしても知られているアクティブスキャニングイオンビーム治療と呼ばれる。加えて、特許第4536826号公報は、荷電粒子ビームの最大利用可能飛程の減少を抑えながら、ビームスポットの線量分布を拡大する粒子線照射装置を開示している。

#### 【0004】

どのようにスポットを送達すべきかという計画は治療計画システムにおいて行われる。治療計画システムは、使用されるエネルギー層ならびにその中のスポットの分布および重量を決定するが、治療計画システムはイオンビームを送達しない。これは、治療計画システムに公知の方法で接続されているイオンビームシステムによって行われる。患者における所与の設定および所与の位置のためのスポットのサイズはイオンビームシステムによって指示される。固定された数のスポットサイズ設定が存在するが多いが、いくつかのイオンビームシステムは同じエネルギー層における横方向のスポットサイズの制御を可能にする。エネルギー層のために特定のスポットサイズを得るための機械設定はスポットサイズ設定と呼ぶことができる。

#### 【0005】

標的体積および周囲の健康な組織に関するスポットの分布を決定するのは複雑な作業である。スポットサイズの調整を可能にすることで、この作業はさらにより複雑なものになる。

#### 【発明の概要】

#### 【0006】

スポットのサイズを調整することができる場合にスポットを標的体積の中および周囲に分布させる方法を改善することを目的とする。

#### 【0007】

第1の態様によれば、標的体積内にスポットを提供するためにイオンビーム治療と共に使用するためのスポット（各スポットは特定の横方向位置における特定のエネルギーレベルおよび特定のサイズのイオンの集合体を表す）の分布を決定するための方法が提供される。本方法は治療計画システムにおいて行われ、かつブラッグピークの位置における最大のスポットサイズを定める少なくとも1つのスポットサイズ戦略を含むユーザ構成に基づいて標的体積を複数の標的部分に分割する工程と、それぞれの標的部分の位置に基づいてスポットサイズ戦略を標的部分のそれぞれ1つに割り当てる工程と、各標的部分内でそのスポットサイズ戦略に従ってスポットを決定する工程とを含む。

#### 【0008】

スポットを決定する工程は、スポットのためのそれぞれのビーム経路が通過する患者の組織に基づいて、それぞれ予期されるスポットのためのスポットサイズを決定することを含む。

#### 【0009】

標的体積を複数の標的部分に分割する工程は、内側マージン内部の内側標的部分を定めること、および標的体積の縁部と内側マージンとの間の外側標的部分を定めることを含んでもよく、ここでは内側マージンは標的体積の縁部に関するマージンを定めるユーザ構成パラメータである。

#### 【0010】

標的体積を複数の標的部分に分割する工程は、それぞれの内側マージンによって互いに区切られている標的体積内に複数の標的部分を定めることを含んでもよく、ここでは内側マージンは標的体積の縁部に関するそれぞれのマージンを定めるユーザ構成パラメータである。

#### 【0011】

標的体積を分割する工程は、標的体積の縁部とリスクマージンとの間のリスク標的部分を定めることを含んでもよく、ここではリスクマージンはリスクのある臓器に関するマージンを定めるユーザ構成である。

【 0 0 1 2 】

リスク標的部分のためのスポットサイズ戦略は、最も小さい利用可能なスポットサイズを使用することであってもよい。

【 0 0 1 3 】

標的体積を分割する工程は、ユーザ構成において定められた標的部分の幾何学的形状に従って標的体積を標的部分に分割することを含んでもよい。

【 0 0 1 4 】

ユーザ構成は、特定のスポットサイズを定める少なくとも1つのスポットサイズ戦略を含んでもよい。

【 0 0 1 5 】

スポットの少なくともいくつかでブラッグピークの位置における最大のスポットサイズを超えている場合であっても、全てのスポットを最も小さい利用可能なスポットサイズ設定に設定してもよい。

【 0 0 1 6 】

ユーザ構成は、ブラッグピークの位置における最小のスポットサイズを定める少なくとも1つのスポットサイズ戦略を含んでもよい。

【 0 0 1 7 】

スポットの少なくともいくつかでブラッグピークの位置における最小のスポットサイズに到達していない場合であっても、全てのスポットを最も大きい利用可能なスポットサイズ設定に設定してもよい。

【 0 0 1 8 】

第2の態様によれば、標的体積内にスポットを提供するためにイオンビーム治療と共に使用するためのスポット（各スポットは特定の横方向位置における特定のエネルギーレベルおよび特定のスポットサイズのイオンの集合体を表す）の分布を決定するための治療計画システムが提供される。本治療計画システムは、プロセッサと、プロセッサによって実行された場合に本治療計画システムに、ブラッグピークの位置における最大のスポットサイズを定める少なくとも1つのスポットサイズ戦略を含むユーザ構成に基づいて標的体積を複数の標的部分に分割させ、それぞれの標的部分の位置に基づいてスポットサイズ戦略を標的部分のそれぞれ1つに割り当てさせ、かつ各標的部分内でそのスポットサイズ戦略に従ってスポットを決定させる命令を格納するメモリとを備える。

【 0 0 1 9 】

第3の態様によれば、標的体積内にスポットを提供するためにイオンビーム治療と共に使用するためのスポット（各スポットは特定の横方向位置における特定のエネルギーレベルおよび特定のスポットサイズのイオンの集合体を表す）の分布を決定するための治療計画システムが提供される。本治療計画システムは、ブラッグピークの位置における最大のスポットサイズを定める少なくとも1つのスポットサイズ戦略を含むユーザ構成に基づいて標的体積を複数の標的部分に分割するための手段と、それぞれの標的部分の位置に基づいてスポットサイズ戦略を標的部分のそれぞれ1つに割り当てるための手段と、各標的部分内でそのスポットサイズ戦略に従ってスポットを決定するための手段とを備える。

【 0 0 2 0 】

第4の態様によれば、標的体積内にスポットを提供するためにイオンビーム治療と共に使用するためのスポット（各スポットは特定の横方向位置における特定のエネルギーレベルおよび特定のスポットサイズのイオンの集合体を表す）の分布を決定するためのコンピュータプログラムが提供される。コンピュータプログラムは、治療計画システムで実行された場合に本治療計画システムに、ブラッグピークの位置における最大のスポットサイズを定める少なくとも1つのスポットサイズ戦略を含むユーザ構成に基づいて標的体積を複数の標的部分に分割させ、それぞれの標的部分の位置に基づいてスポットサイズ戦略を標

10

20

30

40

50

的部分のそれぞれ１つに割り当てさせ、かつ各標的部分内でそのスポットサイズ戦略に従ってスポットを決定させるコンピュータプログラムコードを含む。

【００２１】

第５の態様によれば、第４の態様に係るコンピュータプログラムおよびそのコンピュータプログラムが格納されているコンピュータ可読手段を含むコンピュータプログラム製品が提供される。

【００２２】

一般に、特許請求の範囲で使用されている全ての用語は、本明細書において特に明示的に定義されていない限り当該技術分野でのそれらの通常の意味に従って解釈されるべきである。「一／一つの／その要素、装置、成分、手段、工程など」への全ての言及は、特に明示的に記載されていない限り、当該要素、装置、成分、手段、工程などの少なくとも１つの例に公に言及しているものとして解釈されるべきである。本明細書に開示されている任意の方法の工程は、明示的に記載されていない限り、開示されている正確な順序で行われる必要はない。

【００２３】

次に、添付の図面を参照しながら本発明を例として説明する。

【図面の簡単な説明】

【００２４】

【図１】本明細書に示されている実施形態を適用することができる環境を示す概略図である。

【図２】図１の標的体積におけるエネルギー層のブラッグピーク深さを示す概略図である。

【図３】スポットサイズがユーザ構成において定められた標的部分の幾何学的形状に基づいて決定される一実施形態を示す概略図である。

【図４Ａ】スポットサイズが１つ以上のマージンを含むユーザ構成に基づいて決定される一実施形態を示す概略図である。

【図４Ｂ】スポットサイズが１つ以上のマージンを含むユーザ構成に基づいて決定される一実施形態を示す概略図である。

【図４Ｃ】スポットサイズが１つ以上のマージンを含むユーザ構成に基づいて決定される一実施形態を示す概略図である。

【図５】図１の治療計画システムにおいて行われる、スポットの分布を決定するための方法の実施形態を示すフローチャートである。

【図６】一実施形態に係る図１の治療計画システムの構成要素を示す概略図である。

【図７】コンピュータ可読手段を含むコンピュータプログラム製品の一例を示す。

【発明を実施するための形態】

【００２５】

以下、本発明の特定の実施形態が示されている添付の図面を参照しながら本発明をより完全に説明する。但し、本発明は多くの異なる形態で具体化することができ、本明細書に記載されている実施形態に限定されるものとして解釈されるべきではなく、それどころかこれらの実施形態は、本開示を徹底的かつ完全なものとし、かつ本発明の範囲を当業者に完全に伝えるために例として提供されている。同様の番号は本明細書を通して同様の要素を指す。

【００２６】

本明細書に示されている実施形態によれば、イオンビーム治療計画のために異なるサイズのスポットの分布を決定する。これは、ユーザ構成に基づいて標的体積の標的部分を選択することによって行う。次いで、各標的部分にスポットサイズ戦略を割り当てる。ユーザ構成は、異なるサイズのスポットをどのように標的体積において分布させるかを制御するための好都合な方法である。

【００２７】

図１は、本明細書に示されている実施形態を適用することができる環境を示す概略図である。治療計画システム１は、イオンビーム治療のためのスポットの分布を決定する。こ

10

20

30

40

50

これは、スポット分布データセット 1 2 としてイオンビームシステム 2 に伝達される。スポット分布データセットに基づいて、イオンビームシステム 2 は患者の標的体積 3 にスポットを提供するためのイオンビーム 7 を生成する。標的体積 3 は縁部 4 によって区切られている。

【 0 0 2 8 】

座標系において、図 1 では深さは z 軸に沿って表されており、y 軸は上向きである。従って、図 1 の表示は側面図であるとみなすことができる。深さ方向、すなわち z 軸に沿ったスポットの最大線量の位置は、イオンに提供されるエネルギーの量によって制御され、すなわち、より多くのエネルギーによりスポットの最大線量のより深い位置が得られる。さらに、y 軸および x 軸（図 1 には図示せず）に沿った横方向位置は、ビーム 7 を偏向させるための電磁石を用いて制御される。このように、スポットを提供して標的体積 3 を三次元で覆う線量分布を達成することができる。

10

【 0 0 2 9 】

図 2 は図 1 の標的体積 3 のエネルギー層を示す概略図である。図 2 は図 1 の表示と同じ視点からの側面図である。上で説明したように、ブラッグピークの深さ（z 方向）はエネルギーレベルによって決まる。ここでは、標的体積 3 において 1 7 a ~ f として示されている 6 種類のエネルギーレベルが存在する。これらのエネルギーレベルは、異なる横方向位置にあるが同じエネルギーのイオンのブラッグピークが生じる場所を示す。例えば、第 1 のエネルギーレベル 1 7 a は、図 1 のシステムにおけるイオンビーム治療を用いて第 1 の量のエネルギーのイオンが供給された場合にブラッグピークが生じる場所を示す。第 2 のエネルギーレベル 1 7 b は、第 2 の量のエネルギーのイオンが供給された場合にブラッグピークが生じる場所を示す（後略）。イオンビームが通過する組織の密度はその深さ（およびスポットサイズ）に影響を与えることに留意されたい。例えば、当該ビームが骨を通過する場合、これにより当該ビームが筋肉組織を通過する場合とは異なる深さのブラッグピークが生じる。従って、各エネルギーレベル 1 7 a ~ f は特定の深さの直線である必要はない。

20

【 0 0 3 0 】

図 3 は、スポットサイズがユーザ構成において定められた標的部分の幾何学的形状に基づいて決定される一実施形態を示す概略図である。エネルギー層（図 2 のエネルギー層 1 7 a ~ f のうちの 1 つ）は x - y 平面に沿って示されている。エネルギー層は患者の標的体積において完全に平らである必要はないが、エネルギー層はここでは、患者が存在していない場合に見えるであろうように扁平な層として示されている。治療計画システム 1 は、各エネルギー層の任意のスポットのブラッグピークの z 位置を計算することができるので、患者における組織を考慮して扁平な二次元空間におけるエネルギー層上の任意のスポット位置を三次元空間におけるブラッグピークの位置に変換することができる。

30

【 0 0 3 1 】

標的体積 3 はここでは、ユーザ構成において定められた標的部分の幾何学的形状に従って標的部分 6 a ~ c に分割されている。例えば、ユーザ構成は第 1 の幾何学的形状を標的体積 3 内の体積として定めることができ、それにより第 1 の幾何学的形状は第 1 の標的部分 6 a を定める。第 2 の幾何学的形状は標的体積内の別個の（重複していない）体積であり、それにより第 2 の幾何学的形状は第 2 の標的部分 6 b を定める。任意に、第 1 および第 2 の幾何学的形状が交差している場合、ユーザ構成は、交差している体積が属するはずである第 1 の標的部分および第 2 の標的部分のうちのどちらか 1 つを定めることができる。

40

【 0 0 3 2 】

次いで、第 3 の幾何学的形状を第 1 の幾何学的形状の一部でも第 2 の幾何学的形状の一部でもない標的体積 3 の一部として定めることができる。第 3 の幾何学的形状は第 3 の標的部分 6 c を定める。

【 0 0 3 3 】

標的部分 6 a ~ c のそれぞれ 1 つにはその自身のスポットサイズ戦略を割り当てること  
ができる。スポットサイズ戦略については以下により詳細に定められている。一実施形態

50

では、各スポットサイズ戦略は特定の固定されたスポットサイズを意味する。この例では、第3の標的部分6cには、指定された（この文脈では小さい）サイズのスポットである小さいスポット14aを定めるスポットサイズ戦略が割り当てられている。第2の標的部分6bには、指定された（この文脈では中間の）サイズのスポットである中間サイズのスポット14bを定めるスポットサイズ戦略が割り当てられている。第1の標的部分6aには、指定された（この文脈では大きい）サイズのスポットである大きいスポット14cを定めるスポットサイズ戦略が割り当てられている。スポットサイズは連続的飛程内および離散的処置の両方において変化し得ることに留意されたい。

【0034】

図3には明示的に示されていないが、小さいスポット14aは第2の標的部分6c全体を埋めていることに留意されたい。

10

【0035】

図3は1つのエネルギー層のスポット分布のみを開示しているが、標的体積のために使用される各エネルギー層のために決定される対応するスポット分布が存在する。これらのスポット分布は、図3に示されているエネルギー層と同じ基準（標的部分およびスポットサイズ戦略）に基づいていてもよい。標的部分は三次元で定められているが、対応するスポットサイズ戦略に従って各エネルギー層内でのスポットの配置を可能にするために各エネルギー層において二次元の部分に変形させる。特定のスポットサイズ設定では、実際のスポットサイズはエネルギー層によって決まることに留意されたい。

【0036】

20

図4A～図4Cは、スポットサイズが1つ以上のマージンを含むユーザ構成に基づいて決定される一実施形態を示す概略図である。図3に関しては、スポットは単一のエネルギー層の中に示されている。

【0037】

最初に図4Aを見ると、標的体積3の縁部4からの1つのマージン、すなわち内側マージン7が存在する。「内側」という用語はここでは標的体積3の縁部4に関して解釈されるべきである。内側マージン7は、標的体積3の縁部4に関するマージンを定めるユーザ構成パラメータである。内側マージンは、内側マージン7内部の内側標的部分6a、および標的体積3の縁部4と内側マージン7との間の外側標的部分6bを定める。

【0038】

30

図3に示されている実施形態に関して、各標的部分にはその自身のスポットサイズ戦略を割り当てることができる。例えば、内側標的部分6aには大きいスポット14cを定めるスポットサイズ戦略を割り当てることができ、外側標的部分6bには小さいスポット14aを定めるスポットサイズ戦略を割り当てることができる。

【0039】

より小さいスポットにより、より小さいビーム半影（すなわち、標的体積の縁部の外側でのより急激な線量減少）を生じさせ、それにより、不必要な線量を標的体積の周りの組織に与えるのを防止するために標的体積3の縁部4、すなわち第2の標的部分6bの近くにより小さいスポットを有すると有利である。さらに、治療時間を減少させ、かつロバスト性を向上させるために、より大きいスポットが半影に与える影響がより小さい標的体積の中心、すなわち第1の標的部分6a内により大きいスポットを有すると有利である。「ロバストである」とはここでは、患者設定および密度推定エラーならびにその送達によるあらゆる干渉を含む臓器運動により生じるエラーに関してロバストであり、すなわちこれらのエラーのいずれかが生じたとしても線量分布は好適であると解釈されるべきである。

40

【0040】

内側マージンの単一のユーザ構成パラメータを用いて、そのようなスポットサイズの集まりは非常に好都合に達成される。図4Aには明示的に示されていないが、小さいスポット14aが第2の標的部分6b全体を埋めていることに留意されたい。

【0041】

次に図4Bを見ると、図4Aによって示されている実施形態に加えて、ここには標的体

50



積 3 の縁部 4 とリスクマージン 8 との間のリスク標的部分 6 c を定めるリスクマージン 8 が存在する。リスクマージン 8 はリスクのある臓器 10 に関するマージンを定めるユーザ構成である。任意の線量の提供はリスクのある臓器 10 に対して最小限に抑えるべきである。リスク標的部分 6 c にはその自身のスポットサイズ戦略を割り当てることができる。例えば、リスクのある臓器 10 内に含まれる線量を最小限に抑えるために、リスク標的部分 6 c には小さいスポット 14 a を定めるスポットサイズ戦略を割り当てることができる。

【 0 0 4 2 】

図 4 B には明示的に示されていないが、小さいスポット 14 a は、第 2 の標的部分 6 b 全体および第 3 の標的部分 6 c 全体を埋めており、かつ大きいスポット 14 c は第 1 の標的部分 6 a 全体を埋めていることに留意されたい。

10

【 0 0 4 3 】

次に図 4 C を見ると、複数の標的部分 6 a ~ 6 c は、それぞれの内側マージン 7 a ~ b によって互いに区切られている標的体積 3 内に定められている。内側マージン 7 a ~ b は、標的体積 3 の縁部 4 に関するそれぞれのマージンを定めるユーザ構成パラメータである。この例では第 1 の内側マージン 7 a および第 2 の内側マージン 7 b が存在し、ここでは、第 2 の内側マージン 7 b は第 1 の内側マージン 7 a の内部にある。従って、第 1 の標的部分 6 a は標的体積 3 の縁部 4 と第 1 の内側マージン 7 a との間に定められている。第 2 の標的部分 6 b は第 1 の内側マージン 7 a と第 2 の内側マージン 7 b との間に定められている。第 3 の標的部分 6 c は第 2 の内側マージン 7 b の内部に定められている。

【 0 0 4 4 】

20

図 4 C には明示的に示されていないが、小さいスポット 14 a は第 3 の標的部分 6 c 全体を埋めており、かつ中間のスポット 14 b は第 2 の標的部分 6 b 全体を埋めていることに留意されたい。

【 0 0 4 5 】

図 4 A ~ 図 4 C は 1 つのエネルギー層のスポット分布のみを開示しているが、標的体積のために使用される各エネルギー層のために決定される対応するスポット分布が存在し、そのスポット分布は、図 4 A ~ 図 4 C に示されているエネルギー層と同じ基準（（一つまたは複数の）マージン）に基づいていてもよい。特定のスポットサイズ設定では、ブラッグピークにおける実際のスポットサイズはイオンのエネルギーおよびイオンが横切った組織によって決まることに留意されたい。

30

【 0 0 4 6 】

図 5 は、スポットの分布を決定するための方法の実施形態を示すフローチャートである。本方法は本治療計画システム（図 1 の 1 を参照）において行われる。上に記載したように、スポットの分布は、標的体積内にスポットを提供するためにイオンビーム治療と共に使用することを目的としている。各スポットは特定の横方向位置における特定のエネルギーレベルおよび特定のスポットサイズのイオンの集合体を表す。

【 0 0 4 7 】

標的を標的部分に分割する工程 40 では、本治療計画システムはブラッグピークの位置における最大のスポットサイズを定める少なくとも 1 つのスポットサイズ戦略を含むユーザ構成に基づいて標的体積を複数の標的部分に分割する。最大のスポットサイズは異なる領域で異なってもよい。

40

【 0 0 4 8 】

一実施形態では、これは内側マージン内部の内側標的部分（図 4 A の 6 a を参照）を定めること、および標的体積の縁部と内側マージンとの間の外側標的部分（例えば図 4 A の 6 b を参照）を定めることを含む。内側マージン（図 4 A の 7 を参照）は標的体積の縁部（図 4 A の 4 を参照）に関するマージンを定めるユーザ構成パラメータである。

【 0 0 4 9 】

一実施形態では、複数の標的部分が標的体積内に定められている。標的部分はそれぞれの内側マージンによって互いに区切られており（図 4 C の 7 a ~ b を参照）、ここでは内側マージンは標的体積の縁部に関するそれぞれのマージンを定めるユーザ構成パラメータ

50

である。言い換えると例えば図 4 C に示されており、かつ上に記載されているように、ここには標的体積の中心に連続的により近い部分を定めるいくつかのマーzinが存在する。これは、スポットサイズを標的体積のために適用する方法において 1 つの内側マーzinのみを使用する場合と比較してより大きい粒状度を提供する可能性を与える。

【 0 0 5 0 】

任意に、標的体積の縁部とリスクマーzin（図 4 B の 8 を参照）との間にリスク標的部分（図 4 B の 6 c を参照）を定める。リスクマーzinはリスクのある臓器に関するマーzinを定めるユーザ構成である。このように、特に慎重なスポットサイズ戦略をリスクのある臓器に近い標的体積に適用して、あらゆるリスクまたはリスクのある臓器に送達されるビーム線量を最小限に抑えることができる。

10

【 0 0 5 1 】

一実施形態では、例えば図 3 に示されており、かつ上に記載されているように、ユーザ構成において定められた標的部分の幾何学的形状に従って標的体積を標的部分に分割する。これによりユーザが標的体積を定めるための完全に柔軟な方法が可能になる。

【 0 0 5 2 】

スポットサイズ戦略を割り当てる工程 4 2 では、それぞれの標的部分の位置に基づいてスポットサイズ戦略を標的部分のそれぞれ 1 つに割り当てる。

【 0 0 5 3 】

一実施形態では、リスク標的部分のためのスポットサイズ戦略は最も小さい利用可能なスポットサイズ設定を使用することである。これはビーム線量をリスクのある臓器に送達することに關するあらゆるリスクを最小限に抑えるのに有用であり得る。

20

【 0 0 5 4 】

任意に、ユーザ構成は特定のスポットサイズを定める少なくとも 1 つのスポットサイズ戦略を含む。例えば図 3 および図 4 A ~ 図 4 C の小さいスポットサイズ、中間のスポットサイズおよび大きいスポットサイズは、そのようなスポットサイズ戦略の例である。

【 0 0 5 5 】

最大のスポットサイズは全てのエネルギー層で同じであってもよく、あるいはエネルギー層間で異なってもよい。最大のスポットサイズは、標的縁部の周りでより急激な線量減少を達成するのに有用であり得る。上に記載したように特定のスポットサイズ設定により、エネルギーレベルおよび横切られる組織に依存するブラッグピークの位置における実際のスポットサイズが生じる。例えばビームが骨物質を横切る場合、そのビームは拡散し、より大きいスポットサイズが生じる。故に、スポットサイズはスポットのためのそれぞれのビーム経路が通過する患者の組織に基づいて決定される。最大のスポットサイズを定める場合、全てのスポットが最大の実際のスポットサイズよりも小さいか同じであるブラッグピークの位置における実際のサイズを有するように、特定のエネルギー層におけるスポットサイズ設定を選択しなければならない。

30

【 0 0 5 6 】

但し、ブラッグピークの位置における最も小さい利用可能なスポットサイズ設定の実際のスポットサイズがそのスポットサイズ戦略の最大のスポットサイズよりも大きいスポットが存在してもよい。故にそのようなスポットは、そのエネルギーレベルのために可能なものよりも小さくなくてもよく、従ってスポットの少なくともいくつかでブラッグピークの位置における最大のスポットサイズを超えている場合、すなわちこれにより最大のスポットサイズよりも大きい実際のスポットサイズが生じる場合であっても、最も小さい利用可能なスポットサイズ設定に設定する。

40

【 0 0 5 7 】

任意にユーザ構成は、ブラッグピークの位置において、すなわち 1 つ以上の特定のエネルギー層のために最小のスポットサイズを定める少なくとも 1 つのスポットサイズ戦略を含む。最小のスポットサイズは全てのエネルギー層で同じであってもよく、あるいはエネルギー層間で異なってもよい。また最大のスポットサイズはエネルギー層内の異なる領域で異なってもよい。最小のスポットサイズは、特定のロバスト性を提供し、かつ / または

50

治療時間が非常に長引くのを防止するのに有用であり得る。最小のスポットサイズが定められている場合、特定のエネルギー層におけるスポットサイズ設定は、全てのスポットが最小の実際のスポットサイズよりも大きいと同じであるブラッグピークの位置における実際のサイズを有するように選択しなければならない。

【 0 0 5 8 】

但し、ブラッグピークの位置における最も大きい利用可能なスポットサイズ設定の実際のスポットサイズがそのスポットサイズ戦略の最小のスポットサイズよりも小さいスポットが存在してもよい。故にそのようなスポットは、そのエネルギーレベルのために可能なものよりも小さくなくてもよく、従ってスポットの少なくともいくつかでブラッグピークの位置における最小のスポットサイズに到達していない場合、すなわちこれにより最小のスポットサイズよりも小さい実際のスポットサイズが生じる場合であっても、最も大きい利用可能なスポットサイズ設定に設定する。

10

【 0 0 5 9 】

スポットサイズは連続的飛程内および離散的処置の両方において変化し得ることに留意されたい。

【 0 0 6 0 】

スポットを決定する工程 4 4 では、本治療計画システムは各標的部分内でそのスポットサイズ戦略に従ってスポットを決定する。

【 0 0 6 1 】

それぞれ予期されるスポットのためのスポットサイズは、スポットのためのそれぞれのビーム経路が通過する患者の組織に基づいて決定することができる。言い換えると、スポットサイズは各ビームが通過する患者の組織の種類を定める三次元データに基づいて決定される。例えば骨組織を通過するビームはより多く拡散し、骨組織を通過しない同じエネルギーのビームよりも大きいスポットサイズを生じさせる。

20

【 0 0 6 2 】

この方法は、連続的スキャンニング（ラインスキャンニング）および離散的スポットスキャンニング（ステップアンドシュートスポットスキャンニング）のどちらにも適用することができる。

【 0 0 6 3 】

本明細書で提供されている方法は、いくつかの有利な効果を達成するためのスポットサイズの選択を可能にする。小さいスポットサイズはより小さい横方向半影を与える。但し、多くの小さいスポットは治療時間を長引かせる。故に、標的体積の中央領域においてスポットビームが半影に与える影響の程度はより小さいので、この領域により大きいスポットを使用することができる。より大きいスポットにより、より短い治療時間およびロバスト性の向上が得られる。

30

【 0 0 6 4 】

図 6 は一実施形態に係る図 1 の治療計画システム 1 の構成要素を示す概略図である。プロセッサ 6 0 は、メモリ 6 4 に格納されており、従ってコンピュータプログラム製品であってもよいソフトウェア命令 6 7 を実行することができる好適な中央処理装置（CPU）、マルチプロセッサ、マイクロコントローラ、デジタルシグナルプロセッサ（DSP）、特定用途向け集積回路などのうちの 1 つ以上の任意の組み合わせを用いて提供される。プロセッサ 6 0 は、上の図 5 を参照して記載されている方法を実行するように構成することができる。

40

【 0 0 6 5 】

メモリ 6 4 は、ランダムアクセスメモリ（RAM）およびリードオンリーメモリ（ROM）の任意の組み合わせであってもよい。メモリ 6 4 は、例えば、磁気メモリ、光メモリ、ソリッドステートメモリまたはさらにはリモートでマウントされたメモリのうちの任意の 1 つまたは組み合わせであってもよい永続ストレージも含む。

【 0 0 6 6 】

プロセッサ 6 0 におけるソフトウェア命令の実行中にデータを読み出し、かつ／または

50

格納するためのデータメモリ 66 も提供される。データメモリ 66 は、ランダムアクセスメモリ (RAM) およびリードオンリーメモリ (ROM) の任意の組み合わせであってもよい。データメモリ 66 は例えばユーザ構成 69 を含んでいてもよい。

【0067】

治療計画システム 1 は、他の外部実体との通信のための I/O インタフェース 62 をさらに備える。任意に I/O インタフェース 62 はユーザインタフェースも含む。

【0068】

治療計画システム 1 の他の構成要素は本明細書に示されている概念を曖昧にしないために省略されている。

【0069】

図 7 はコンピュータ可読手段を含むコンピュータプログラム製品の一例を示す。このコンピュータ可読手段にはコンピュータプログラム 91 を格納することができ、このコンピュータプログラムはプロセッサに本明細書に記載されている実施形態に係る方法を実行させることができる。この例では、コンピュータプログラム製品は、CD (コンパクトディスク) または DVD (デジタル・バーサタイル・ディスク) またはブルーレイディスクなどの光ディスクである。上で説明したように、図 6 のコンピュータプログラム製品 64 などのコンピュータプログラム製品は装置のメモリ内にも具体化することができる。コンピュータプログラム 91 は描写されている光ディスク上のトラックとしてここに概略的に示されているが、コンピュータプログラムは、取外し可能なソリッドステートメモリ、例えばユニバーサル・シリアル・バス (USB) ドライブなどのコンピュータプログラム製品に適した任意の方法で格納することができる。

【0070】

本発明を主に数個の実施形態を参照しながら上に説明してきた。但し当業者によって容易に理解されるように、上に開示されているもの以外の他の実施形態が、添付の特許請求の範囲によって定められているように本発明の範囲内で同等に可能である。

10

20

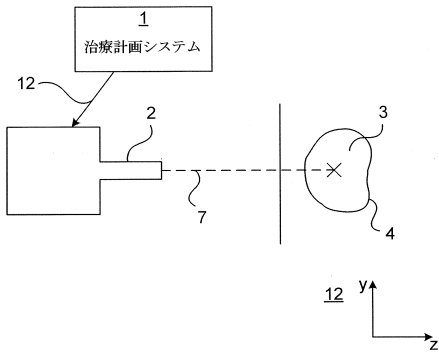
30

40

50

【図面】

【図 1】



【図 2】

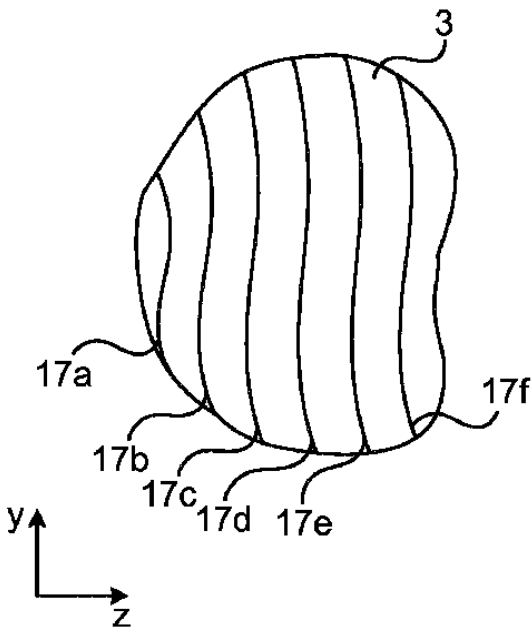


Fig. 2

【図 3】

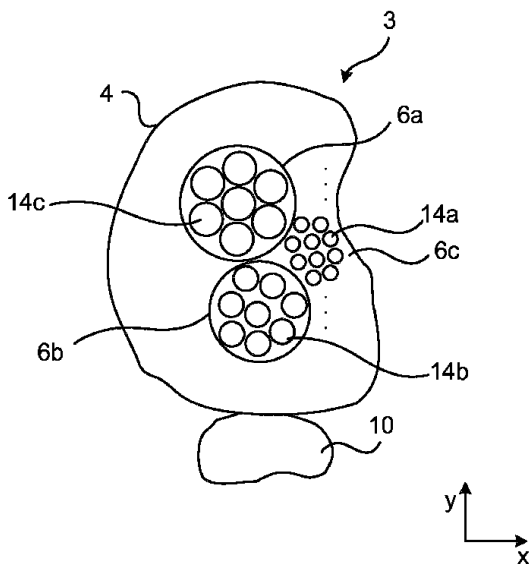


Fig. 3

【図 4 A】

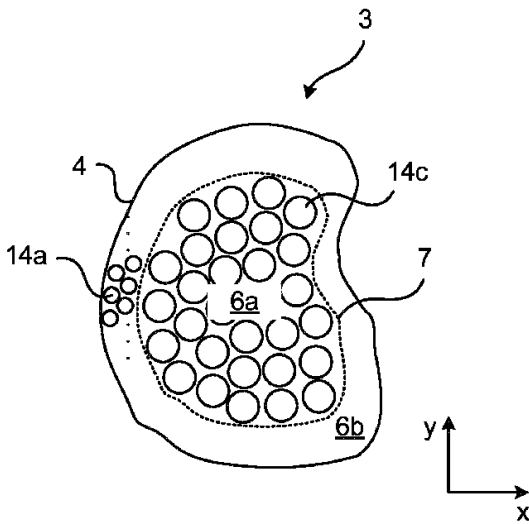


Fig. 4A

10

20

30

40

50

【図 4 B】

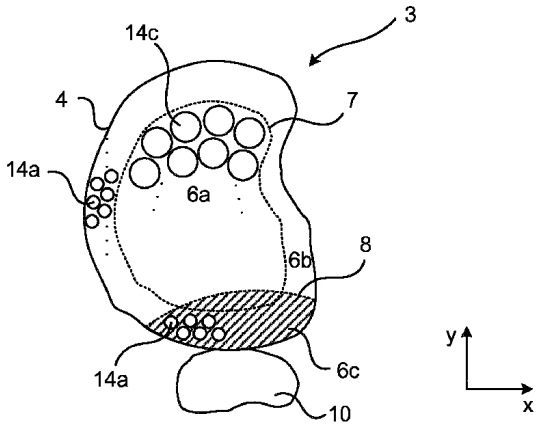


Fig. 4B

【図 4 C】

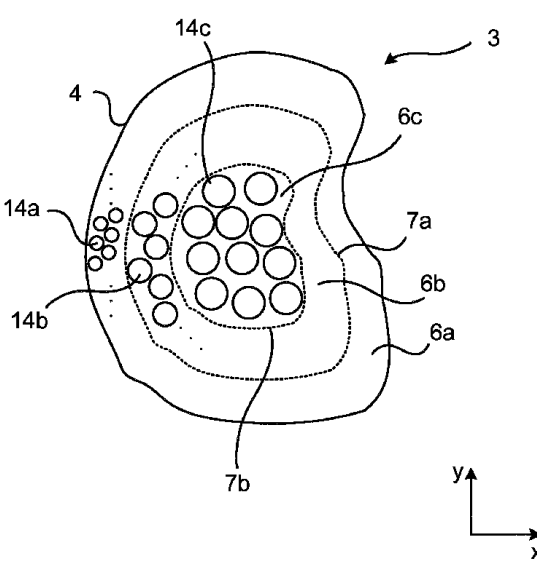
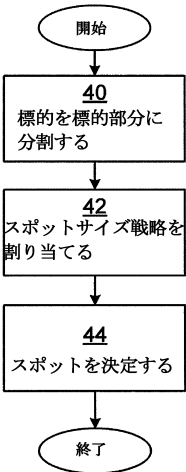
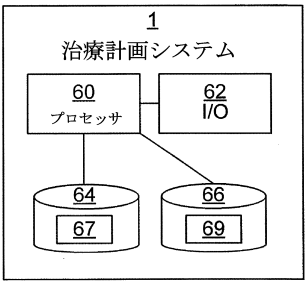


Fig. 4C

【図 5】



【図 6】



10

20

30

40

50

【図 7】

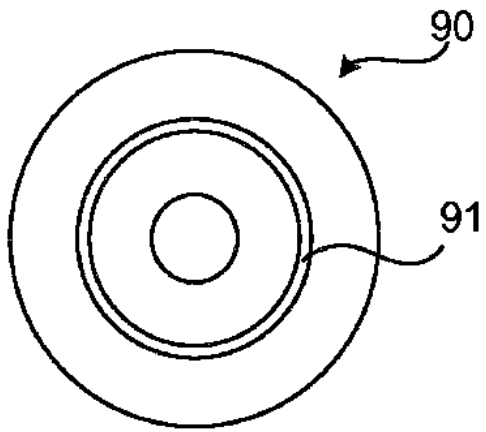


Fig. 7

10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (72)発明者   グリメリウス, ラース  
              スウェーデン国, 1 1 4 2 7 ストックホルム, サープランスガタン 8 ビー
- (72)発明者   ジャンソン, マーティン  
              スウェーデン国, 1 2 1 3 4 エンスケデダーレン, デ ガムラス ヴァグ 2 2
- 審査官   山口 賢一
- (56)参考文献   特開 2 0 0 1 - 2 1 2 2 5 3 ( J P , A )  
              米国特許出願公開第 2 0 1 7 / 0 2 8 1 9 8 0 ( U S , A 1 )  
              特開 2 0 1 0 - 0 2 9 5 9 4 ( J P , A )  
              特表 2 0 1 6 - 5 3 2 4 6 2 ( J P , A )  
              米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 0 9 0 8 9 4 ( U S , A 1 )  
              米国特許出願公開第 2 0 1 4 / 0 3 5 0 3 2 2 ( U S , A 1 )
- (58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)  
              A 6 1 N   5 / 1 0