(19)日本国特許庁(JP)　　(12)公表特許公報(A)　　(11)特許出願公表番号
特表2005-534910
(P2005-534910A)
(43)公表日　平成17年11月17日(2005.11.17)

(51) Int.Cl.⁷	F I		テーマコード (参考)
G21F 7/00	G21F 7/00	Z	4C082
A61N 5/10	A61N 5/10	S	
G21F 1/10	G21F 1/10		
G21F 3/00	G21F 3/00	N	
G21K 5/00	G21K 5/00	S	

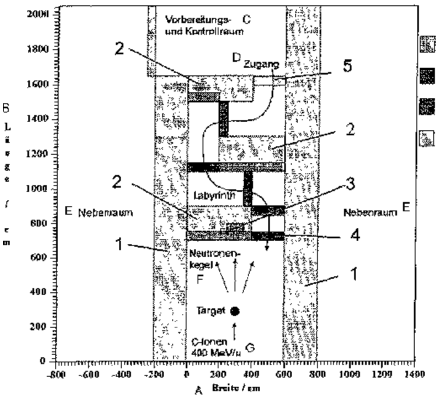
審査請求 有　予備審査請求 有　(全 18 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2004-525158 (P2004-525158)
(86)(22)出願日　平成15年7月8日 (2003.7.8)
(85)翻訳文提出日　平成17年2月1日 (2005.2.1)
(86)国際出願番号　PCT/EP2003/007304
(87)国際公開番号　W02004/013865
(87)国際公開日　平成16年2月12日 (2004.2.12)
(31)優先権主張番号　10235116.3
(32)優先日　平成14年8月1日 (2002.8.1)
(33)優先権主張国　ドイツ(DE)

(71)出願人　504343177
ゲゼルシャフト　フュア　シュヴェリオーネンフォルシュング　ミット　ベシュレンクテル　ハフツング
ドイツ連邦共和国　ダルムシュタット　プランクシュトラーセ　1
(74)代理人　100061815
弁理士　矢野　敏雄
(74)代理人　100094798
弁理士　山崎　利臣
(74)代理人　100099483
弁理士　久野　琢也
(74)代理人　100114890
弁理士　アインゼル・フェリックス＝ラインハルト
最終頁に続く

(54)【発明の名称】エネルギー領域ＧｅＶまでの中性子に対するイオン治療用シールドルーム

(57)【要約】
エネルギー領域ＧｅＶまでの中性子に対するイオン治療用のシールドルームが提案される。このルームは１つの側を除いてすべての側に遮蔽部を備えておりかつ遮蔽されていない側に遮蔽効果のあるラビリンス形式の出入り口部を有している。ラビリンス形式の出入り口部は少なくとも２つの遮蔽から成っている。これら遮蔽は、線軸線に関して長さ方向においてずれており、反対側から空間に突出しておりかつそれぞれ、出入り口部の内法の半分より大きく被覆している。遮蔽はそれが、入射する中性子の破砕過程をトリガするのに適しておりかつ生成された中性子を減速することができるような構造になっている。提案された構造的なメインの遮蔽措置は組み合わせ遮蔽の導入であり、これは金属と続いて水素を含有する層とから成っている。第１の層において高エネルギーの中性子、所謂破砕反応が引き起こされ、これら中性子は第２および別の層において弱められる。



A WIDTH
B LENGTH
C PREPARATION AND CONTROL ROOM
D ACCESS
E ADJACENT CHAMBER
F NEUTRON DISPERSION
G C-IONS
H CONCRETE WALL
I CROSS-SUPPORTS FROM 2.5 TO 3.5 M
J IRON BEAM TRAP
K POLYTHENE

【特許請求の範囲】
【請求項１】
エネルギー領域ＧｅＶまでの中性子に対するイオン治療用のシールドルームであって、
該シールドルームは、
主軸線が治療線の方向を通るように予め定められかつ１つの側を除いてすべての側に遮蔽（１）を備えている治療室と、
該治療室の遮蔽されていない側にある遮蔽効果のあるラビリンス形式の出入り口部と
から成っており。
ラビリンス形式の出入り口部は、治療線軸線に関して長さ方向においてずれている少なくとも２つの遮蔽（２）から成っており、該遮蔽は反対側から該ルーム内に突出しておりかつそれぞれが、出入り口部の内法の半分より大きく被覆しており、
該遮蔽（２）はそれらが、入射する中性子の破砕過程をトリガするのに適しておりかつ生成された中性子を減速することができるような構造になっている
シールドルーム。
【請求項２】
前記出入り口部の遮蔽（２）は治療室の方の側において金属層を有している
請求項１記載のシールドルーム。
【請求項３】
前記出入り口部の２つの遮蔽（２）のうち、治療室を向いている側の遮蔽は、１次線が衝突する領域（３）において比較的厚く実現されている
請求項１または２記載のシールドルーム。
【請求項４】
ラビリンス形式の出入り口部において２つの遮蔽（２）の間に付加的な水素含有遮蔽（４）が取り付けられている
請求項１から３までのいずれか１項記載のシールドルーム。
【請求項５】
ラビリンス形式の出入り口部において少なくとも１つの別の遮蔽（２）が配置されており、その際遮蔽は交番的に左側および右側で隣接している
請求項１から４までのいずれか１項記載のシールドルーム。
【請求項６】
ラビリンス形式の出入り口部は治療領域とは反対の方の側で水素含有遮蔽ドア（５）を含んでいる
請求項１から５までのいずれか１項記載のシールドルーム。
【請求項７】
１次線が衝突する領域（３）は凹面を有している
請求項１から６までのいずれか１項記載のシールドルーム。
【請求項８】
治療室に本来備わっている遮蔽（１）の一部はそれらが、入射する中性子の破砕過程をトリガするのに適しておりかつ生成された中性子を減速することができるような構造になっている
請求項１から７までのいずれか１項記載のシールドルーム。
【請求項９】
１次線が衝突する領域（３）を付加的な可動の遮蔽エレメントによって遮蔽することができる
請求項１から８までのいずれか１項記載のシールドルーム。
【請求項１０】
少なくとも１つの前記出入り口部の遮蔽（２）の自由端はＴまたはＬ形状に実現されている
請求項１から９までのいずれか１項記載のシールドルーム。
【発明の詳細な説明】

【技術分野】
【０００１】
本発明は、エネルギー領域ＧｅＶまでの中性子に対するイオン治療用シールドルームに関する。
【背景技術】
【０００２】
ドイツ連邦共和国およびその他のヨーロッパの国々おいて現在、高エネルギーのイオンビームに対する医用の治療加速器装置が計画中である〔Ｉ〕。高エネルギーイオン加速器を構想するに当たり、イオン加速器が加速器構造におけるイオンの制動プロセスの際に２次放射を生体標的または別のターゲットに発生するという問題がある。２次放射の主成分は中性子ビームである。この２次放射は所望しない付随効果である。これに対して１次線は加速されるもしくは輸送される。
【０００３】
次のプロセスのために２次放射として中性子が生成されることになる：
－電荷反転による放射損失；
－不完全な真空による残留ガスとの相互作用による放射損失：
－軌道から外れる過程中、軌道へ入る過程中、抽出および注入期間；
－イオン線の、織物またはその他の材料における制動の際。
【０００４】
回避できない２次放射、「中性子ビーム」は遮蔽されなければならない。線源放射として生成される放射線レベルは著しく高くかつＳｖ／ｈまでのレベルになる。遮蔽の外側で許容できる放射線レベルは、遮蔽の外側での領域の定義に応じて、例えばドイツ連邦共和国の放射線防護法「監視またはコントロール領域」によれば、μＳｖ／ｈレベルにある。従って中性子ビームの線量パワーは約６オーダ分も低減されなければならない。
【０００５】
クリニックの周辺に重イオン治療ユニットを実現するには放射線防護規定の要求が考慮されなければならず、すなわち治療室に接している領域は、監視領域もしくは放射性物質の無視できる放出において年間１ｍＳｖ限界値を維持する領域として定義されるべきである。
【０００６】
患者がｘ線およびガンマ線によって照射される従来の治療装置は、放射線防護室（Strahlenbunker）において、コンクリートト壁が散乱放射のような生成される１次放射を遮蔽して周囲の領域が現実として高められた放射線レベルを有することがないように配置されている。
【０００７】
放射線治療はこれまで、例えば１３７－Ｃｓ，６０－Ｃｏのようなガンマ線源からのビームによって、または電子加速器において生成されたｘ線によって実施される。それ故に構造的な放射線防護はガンマおよびｘ線の遮蔽のためである。５０ＭｅＶまでの高い終点エネルギーを有する電子加速器に対して、原子核の光電効果において生成される中性子ビームの遮蔽が必要である。中性子遮蔽の設計のための基準となる手引きはＤＩＮ規格ＤＩＮ６８４７／第２部〔II〕、ＮＣＲＰの刊行物および基礎研究の高エネルギー粒子加速器に対して参照手引きは Landolt-Boernstein〔III〕である。
【０００８】
中性子ビームの遮蔽のための一般的な手法は、水、コンクリート、水を含有する材料のような水素含有物質の使用である。ｘ線およびガンマ線の遮蔽のために使用される、鉛または鉄のような素材は、中性子を弱めるかまたは吸収するためにはさほど適していない。直接的な中性子ビームに対してＤＩＮ６８４７／第２部〔II〕によれば、医用の照射装置の領域に対して次の十分の一値（デシ）層厚が指示される：
【０００９】

【表１】

材料の放出を無視できるとした場合の、年間当りのmSv限界値

材料	水、パラフィン	コンクリート	鉄 , 鉛
デシ値厚さ	10 ～ 15 cm	16 ～ 25 cm	42 cm

【００１０】

３ＭｅＶまでのエネルギーの中性子の吸収および弱体化が十分でないことに基づいて、金属中に不十分な作用が実現されるので、水素を含む別の吸収体が金属遮蔽部に続いて使用されなければならない。

【００１１】

層厚ｄおよび最小壁厚（$d > d_0$）の遮蔽作用はエネルギーE_nの中性子ビームに対して次の通りである：

【００１２】

【数１】

$$\frac{H(d)}{H_0} = \frac{1}{r^2} \cdot \exp(-\frac{d}{\lambda(E_n, \vartheta)}),$$

上式中、λ（E_n）は中性子ビームのエネルギーおよび入射線に対して相対的である角度θに依存している特徴的な弱体化定数、ｒは線源点までの距離、ｄは遮蔽厚およびH_0は１次線およびターゲットに依存している線源強度である。

【００１３】

遮蔽作用は、３ＭｅＶまたはそれ以下のエネルギーを有する中性子の場合を除いて、銅に対して一般にコンクリートに対してよりも高い。しかし遮蔽の作用は、全部の中性子エネルギーが線源中性子の、遮蔽を通る輸送の際に発生する可能性があるので、すべての中性子エネルギーに対して作用する遮蔽が存在していなければならない程度のものである。

【００１４】

これまでに作られている放射線治療装置の放射線防護設計は、中性子成分の遮蔽に関して１０ＭｅＶ周辺の中性子のエネルギー領域に集中していた。この場合コンクリートは一般にそれだけですべての種類の放射線に対する十分に作用する放射線防護である。遮蔽作用の差異は金属に対してコンクリートに対してと同じに、広いエネルギー領域にわたって、すなわち３および３０ＭｅＶの間で匹敵している。

【００１５】

イタリアのイオン治療プロジェクトＴＥＲＡのための最新の放射線防護計画は、Agosteo et al. 〔IV〕によって実施された。研究において計画の基礎となったのは炭素イオンだった。放射線防護措置の設計のために、ここでも基礎となっている中性子スペクトルが使用される。Agosteo は測定された中性子スペクトルおよび中性子の輸送に基づいて例えば球形のジオメトリーである簡単化されたジオメトリーにおける放射線輸送プログラムＦＬＵＫＡ（Ｖ）によって、中性子ビームの弱体化を簡単化された配置構成において見積もることを可能にするモデルを開発した。このモデルは実質的に直接放射により引き起こされる線量パワーを記述する。散乱放射により高められると予測される線量パワーの割合をこの種のモデルによって見積もるのは極めて困難である。

【００１６】

炭素イオンを用いて深度治療を行う重イオン治療装置は中性子当たり約４００ＭｅＶまでのエネルギーを有する加速されたイオンを必要とする。織物におけるイオンの制動プロセスの際に生成される中性子ビームは約１０００Ｍｅｖまでのエネルギーを有している。この形式の高エネルギー中性子ビームはとりわけ、従来の遮蔽材料によって遮蔽するのは難しい。１００ＭｅＶより大きなエネルギーを有する中性子の弱体化長は、密度２．３ｇ

／ｃｍ^{3}の通常のコンクリートにおいて４５ないし５２ｃｍである。デシ値厚は約１００ｃｍである。

【００１７】

イオン治療装置の物理的なパラメータは従来のｘ線照射装置の物理的なパラメータとは大幅に異なっている。すなわち１次線、陽子、炭素イオン、酸素イオンが生成から加速を介して織物における沈着まで正確にガイドされかつｘ線の場合程強く散乱されないが、制動プロセスにおいて高エネルギーの中性子が生成される。すなわち核子当たりエネルギー４００ＭｅＶの炭素イオンは制動プロセスにおいて平均して約５個の中性子を発生する。

【００１８】

従来のｘ線治療装置に対するその他の基本的な相異は、空間的なコストおよび（放射）線生成から線の、患者への適用までの空間的な分配が比較的高いことである。これによりそのことだけで線ガイドに対する遮蔽コストは従来の装置の場合より高い。その他結果的に生じることは、処置空間へのアクセスが難しくなることである。というのは、線ガイドそれ自体が治療ユニット周辺の広範な領域を占有しているからである。ｘ線照射装置に対するこれまでの遮蔽コンセプトは主として、ＭｅＶ中性子ビームに対して適用可能である弱体化長を有するコンクリートの遮蔽作用を利用している。

【００１９】

放射線防護遮蔽はこれまで、中性子の、陽子での弾性的な散乱を利用するための水素を含む減速材の観点下でのみ開発された。これは中性子エネルギーが増えるにつれて一層僅かになる作用断面を有している。しかし高エネルギーの中性子ビームを遮蔽する構想は、高いエネルギーに対して一定の作用断面および一定の相互作用確率を有している、破砕反応および断片化反応のような別の物理的なプロセスを考慮しなければならない。コンクリートと比較して、種々異なっている材料において変化された弱体化長を招来しかつ純然たるコンクリート遮蔽より一層コンパクトにすませることができる材料がある。

【００２０】

治療ユニットの建造物構造寸法を一層効率よく選定できるようにするために、コンパクトな遮蔽ジオメトリーを計画することが重要である。これには次のものがある：

－治療室に接している領域は、人員の持続的な滞在を回避することができるような構造のものであるべきである；

－治療室のディメンジョンは、小さな領域だけを遮蔽すればいいように制限すること；

－僅かな容積しか必要でないように遮蔽それ自体の構造を効率的なものにする；

－遮蔽ドアのディメンジョンを、最後に挙げた措置に基づいて、それが電動力なしにも容認できる時間で動かすことができる程度に低減できるようにする。

【００２１】

本発明の課題は、３番目に挙げた措置、すなわち遮蔽それ自体の構造を効率的なものにして遮蔽が僅かな容積しか必要としないようにすることである。

【００２２】

この課題はその要点において請求項１に記載の構成によって解決される。構造的に有利なその他の手段は請求項２ないし１０に記載されている。

【００２３】

本発明の解決法は、高エネルギーの中性子ビームに対する空間的に構造化されたマルチ・レイヤ・コンポーネント遮蔽、すなわち組み合わせ遮蔽の原理に基づいている。要部は、まず、重原子核による破砕反応において高エネルギーの中性子の相互作用を引き起こす層（レイヤ）の導入である。この場合高エネルギーの中性子から複数の低エネルギーの中性子が生成される。それから低エネルギーを有するこれら中性子は従来の水素含有遮蔽材料によって吸収されるまたは弱められるようにすることができる。組み合わせ遮蔽は２つのステップにおいて作用する：

－第１の層における破砕および断片化反応のトリガ；

－第１の層において生成された２次放射線の吸収。

【００２４】

組み合わせ遮蔽において重要なのは、放射線防護の種々の観点における最適化である。破砕反応において中性子のみならず、核断片、その中の放射性核種も生成され、これらはこれらで可能な線源である。

【００２５】

重い標的核の選択で、放射性核種においてどんなスペクトルを発生することができるかが予め定められる。従って重い標的核の選択は高エネルギー中性子から低エネルギー中性子への変換と、ベータ線およびガンマ線を放出する放射性核種の生成とを最適化する。重い破砕－中性子変換器、鉛、ビスマスなどの使用により、生成された部分的に比較的長い寿命の放射性核種においても相応に大きなスペクトルが引き起こされる。比較的軽い破砕中性子－変換器は破砕に対して比較的僅かな効率しか有していないが、放射性核種を発生するための可能性および作用断面は比較的僅かである。というのは、核種カードに相応して僅かな放射性核種しか生成されない可能性が高いからである。このことは、加速器の遮断後のベータ線およびガンマ線による被爆に関して放射線防護考察の意味において有利である。

【００２６】

組み合わせ遮蔽は空間的な構造化の措置によって次のようにまとめられる：

ｉ．　組み合わせ遮蔽の導入、例えば０．５ないし１ｍの層厚を有する金属および続いて１．５ないし２または３ｍの層厚を有する水素含有層、ここにおいて第１の層において高エネルギーの中性子が破砕反応を引き起こしかつ主として比較的僅かなエネルギーの中性子が生成され、これらは第２および別の層において弱められる、例えば０．５ｍのＦｅおよび１．５ｍのコンクリート。

ｉｉ．　例えばコンクリートから成っている、天井から床の方向に垂直に下方に延びているクロス・サポート（横断方向の筋違）の導入。

ｉｉｉ．　横断方向に配置された壁の、組み合わせ遮蔽への導入、相前後する複数の組み合わせ遮蔽。

ｉｖ．　例えばポリエチレン、水、パラフィンなどのような水素含有物質から成る放射線防護ドア。

ｖ．　別の措置は、組み合わせ遮蔽に壁を有する中性子に対する後方散乱室およびラビリンスへの側方の出口である。

ｖｉ．　１次線が減せられる場所に対する線ストップ増強部。

【００２７】

付加的な措置は次の通りである：

－１次線が減せられる領域に対して、例えばＰｂのような金属から成る可動の被覆を設けて、生成されたガンマ放射核種が遮蔽されるようにする。ここで、被覆は放射作動の期間には遮蔽に収納されて活性化が回避されるようにしかつ１次線の遮断後にこの可動の被覆を遮蔽されるべき個所に移動させることができる。

【００２８】

別の可能な措置は次の通りである：

－照射室における可動の遮蔽、所謂調整用設置壁。

【００２９】

上に挙げた措置は要求される遮蔽効果が実現されるように組み合わされなければならない。組み合わせ遮蔽の使用は最適化された放射線防護装置の構成要素である。

【００３０】

個別措置は文献から公知でありまたは基礎研究の加速器に実際に使用されている。遮蔽作用の最適化のためのその組み合わせにおいてこれらは新規である。その組み合わせにおいてこれらは、生成された２次放射の線量パワーを放射線源から入口までで約６オーダだけ低減することができるように作用する。重要な観点は、線源からの直接的な放射成分の低減と同時に、散乱放射成分の同程度の低減でもある。中性子ビームに対するこれまでの遮蔽は、入射する中性子の制動、水素含有減速材、遮蔽において生じている中性子捕獲反応しか利用していない。

【００３１】
ここで提案される措置によりまず１つには、入射する放射（ビーム）の破砕反応を介して入射する中性子より平均してより小さなエネルギーを有する中性子が生成される。それからこれらの生成された中性子はこれまでのように減速されかつ遮蔽中の中性子捕獲反応を介して吸収される。更に、散乱放射の低減のための後方散乱袋小路のような、ラビリンス設計の遮蔽ストラテジーのために新しい幾何学的なエレメントが導入される。
【００３２】
上に述べたストラテジーは、列記した措置の適用に応じて次の観点において、生成された中性子ビームおよび陽子ビームの最適化された遮蔽作用を行う：
－放射線レベルの低減、直接放射によって引き起こされて散乱されない放射；
－散乱放射の低減；
－遮蔽ユニットの空間コストの利用の最適化；
－２次放射による放射性核種の生成、その最小化および生成されたガンマおよびベータ放射性核種による放射被曝の低減；
－例えば出入り口遮蔽ドアが余分になるような、最初の３つの措置の組み合わせ。
【００３３】
本発明の重要な利点は、構造的な放射線防護の実現にある。これらは次の通りである：
－材料および幾何学形状（ジオメトリー）に関して遮蔽を最適化すること；
－陽子、炭素イオンおよび別のイオンによる重イオン治療を用いた癌処置のための装置に関して前以て決められている放射線防護指令を充足するために最適化された措置を統合すること；
－提案される措置は、患者の処置場所に対する入口方向が放射軸線上にあるという不都合な場合ですら、適切な遮蔽を保証するのに適している；
－高エネルギーの中性子ビームに対する直接および散乱放射のより効率的な弱体化；
－遮蔽壁において線が減せられる、患者照射と品質保証とを有する２モード作動に対するコンパクトな遮蔽措置；
－照射期間の放射性物質の生成およびこの物質の遮蔽を考慮すること。
【００３４】
放射線医科大学病院におけ重イオン治療装置の今日のプロトタイプ計画は炭素イオン線および陽子線に対して考案されている。計画は技術監査協会－南ドイツ（TUEV-Sueddeutschland）によって遮蔽装置および遮蔽作用を考慮して検査されかつ基本的な構想において確認された。
【００３５】
本発明を大学病院の計画された重イオン治療装置のホリゾンタル照射場所のスケッチに基づいて詳細に説明する。このために２つの図を有する図面が使用される。これら図は詳細には次のものを示している：
図１はハイデルベルクの大学病院の計画された重イオン治療装置のホリゾンタル照射場所の概略、
図２は中性子に対する環境線量等量Ｈ*（１０）を突き止めるための放射輸送プログラムＦＬＵＫＡによるホリゾンタル照射場所のジオメトリーＰのモデリング。
【００３６】
それぞれ１次線としての陽子、炭素イオン、ネオンイオンおよび重イオンを有する重イオン治療装置の作動は中性子ビームの発生と結び付いている。基本は物質におけるイオンの制動過程の期間のイオンまたは標的核の説明された核物理学的な断片化プロセスである。例えば核子当たりエネルギー４００ＭｅＶを有する炭素イオン当たり、平均して５個の中性子が放出される。最小の損失と結び付いている、シンクロトロンから患者への線ガイドの他にとりわけ患者処置の領域は中性子線量パワーの高められる場所である。
【００３７】
この形式の治療装置の配置構成によって、処置領域への出入り口は大抵の場合、１次線に面して線ライン上にある。中性子の空間的な放射は、中性子の主成分がイオン線の順方

向において散乱されるようになるものである。これにより必然的に、本発明の措置を有する出入り口領域の構造は線が治療場所の入口領域までに十分に弱体化されるようなものになる（図１および図２参照）。

【００３８】

照射場所に対する遮蔽装置の作用の特定は最も正確には放射輸送プログラムによって実施することができる。実施例において、測定された中性子スペクトルに基づいているモンテカルロ放射輸送計算の結果がまとめられている。

【００３９】

放射線レベルの見積もりはホリゾンタル照射場所に対して、測定された中性子スペクトルに基づいて、放射輸送プログラムＦＬＵＫＡを使用して計算された。線として中性子当たり４００ＭｅＶのエネルギーを有する炭素イオン線が考慮される。ターゲットとして、測定のために、１００×１００×２００ｍｍ^{3}を有するグラファイトブロックないし１００×１００×５０ｍｍ^{3}を有する銅ターゲットが用いられた。中性子スペクトルは角度０°、７．５°、１５°、３０°、６０°および９０°において測定された。

【００４０】

この形式の治療装置に対して基本的には２つの照射モードがある：

－患者において完全な１次線沈着が行われる患者の照射；

－照射計画を検証しかつ線が線捕獲器においても沈着されるようにすることができる品質保証のための照射。

【００４１】

計算のために、炭素ターゲットによって測定されたスペクトルは患者照射を表すものとしてもしくは銅ターゲットによって測定されたスペクトルは品質保証のための照射を表すものとして考察された。

【００４２】

ラビリンスのＦＬＵＫＡシミュレーション計算のために、２つのジオメトリーが次のように扱われる：

－患者ジオメトリー、Ｐ；

－コントロール測定に対するジオメトリーＱ（品質の保証）。

【００４３】

前者の場合線は第１の壁の前約３．５ｍにあるターゲットにおいて減せられ、後者の場合線の大部分はラビリンスの第１の壁において直接減せられる（図１および図２参照）。発生された中性子はラビリンスを通って入口領域の方向に輸送されかつ線量パワーがラビリンスに沿って求められる。イオン線の強度に対して、作動中１０分間隔にわたって平均化されて、毎秒１０^{7}個のイオンの最大値が期待される。理論上の最大値は毎秒３＊１０^{8}個のイオンにある。逆方向に散乱される線源中性子に対して、９０°で測定された中性子スペクトルが使用される。

【００４４】

遮蔽作用を最適化するために次の措置が導入される：

－散乱放射の低減のためのラビリンス技術；

－従来のコンクリート遮蔽の他に、組み合わせ遮蔽の使用；

－中間壁の通路において天井から２．５ｍの高さまでのクロスサポートの導入；

－品質保証のための１ｍ^{2}の面積におけるダンプ機能のための、０．５ｍの第１の壁の１．０ｍへの鉄遮蔽の局所的な強化；

－第３の横壁においても鉄遮蔽の使用（０．５ｍ）；

－入口領域でのポリエステルドアの使用（０．５ｍ厚）；

－ターゲット上方の天井領域における鉄遮蔽の使用（０．５ｍ鉄）。

【００４５】

線量パワーの算出は、人員の滞在領域であるラビリンスに対する入口領域、および隣接空間に集中して行われる。線量パワー値は毎秒３＊１０^{8}個のイオンを有する最大強度の１次線に対して計算されている（図２参照）。

【００４６】
下記の表１から、実施された計算が一目で分かるようになっている。ジオメトリーＰは患者ジオメトリーを意味し、ジオメトリーＱは品質保証のための照射である。ジオメトリーＤは屋根ジオメトリーを意味し、ここではターゲット位置上方の２ｍ厚のコンクリート遮蔽に代わって組み合わせ遮蔽として０．５ｍの鉄の鉄強化部を備えている。
【００４７】
ここに計画される装置の特殊性－出入り口部における中性子円錐ローブの順方向散乱－はこの形式の照射装置に対する文献においてこれまで考慮されない。
【００４８】
【表２】

線［イオン／秒］	線量パワー	ジオメトリー	イメージ
3*·10^8	中性子	P	4
3*10^8	陽子	P	5
1*10^7	中性子	P	6
3*·10^8	中性子	Q	7
1*·10^7	中性子	Q	8
3*·10^8	中性子	D	9
1*·10^7	中性子	D	10

表１：種々の線パラメータおよびジオメトリーを使用して、ＦＬＵＫＡによって計算されたジオメトリーの概観。
【図面の簡単な説明】
【００４９】
【図１】ハイデルベルクの大学病院の計画された重イオン治療装置のホリゾンタル照射場所の概略図
【図２】中性子に対する環境等価線量Ｈ*（１０）を突き止めるための放射輸送プログラムＦＬＵＫＡによるホリゾンタル照射場所のジオメトリーＰのモデリングを示す図
【符号の説明】
【００５０】
１　遮蔽
２　遮蔽
３　領域
４　遮蔽
５　遮蔽ドア
６　領域
【００５１】

文献：

[I].

J. Debus; Proposal for a dedicated Ion Beam Facility for Cancer Therapy. DKFZ, GSI and FZR Report 1998
(医用電子加速器装置の設置に対する放射線防護規則、章8. 7、中性子ビームの遮蔽の選定)

[II].

DIN 6847 / 第２部 (Strahlenschutzregeln für die Errichtung von medizinischen Elektronenbeschleunigeranlagen, Kapitel 8.7, Bemessung der Abschirmung von Neutronenstrahlung), 1990 年３月
(グループ１：核および粒子物理；巻１１：高エネルギービームに対する防護)

[III].

A. Fasso, K. Goebel, M. Höfert, J. Ranft, G. Stevenson in Landolt-Börnstein, Gruppe 1: Kern- und Teilchenphysik; Band 11: Abschirmung gegen hochenergetische Strahlung, 編集者 H. Schopper, Springer-Verlag, Berlin, 1990.

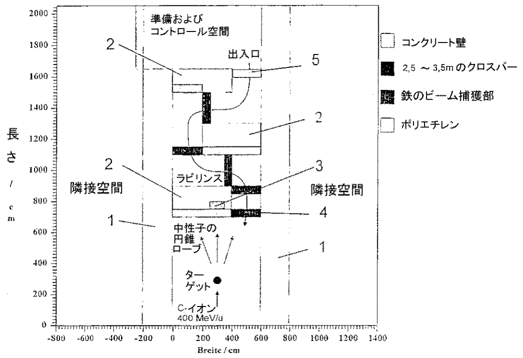
[IV].

S. Agosteo; Radiation Protection at Medical Accelerators; Radiation Protection Dosimetrie, Vol. 96No. 4, 393-406 (2001).

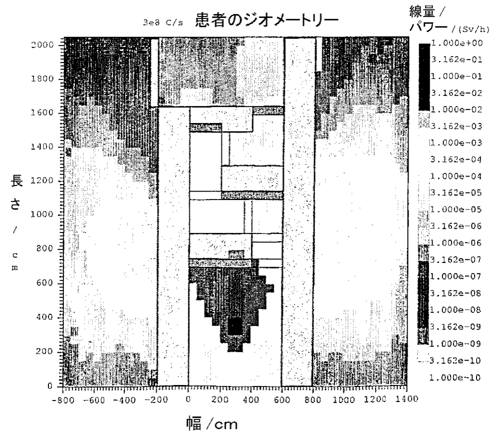
[V].

A. Fasso, A. Ferrari, J. Ranft, P.R. Sala: New developments in FLUKA, modelling hadronic and EM interactions Proc. 3rd Workshop on Simulating Accelerator Radiation Environments, KEK, Tsukuba (Japan) 7-9 May 1997. Ed. H. Hirayama, KEK Proceedings 97-5 (1997), p. 32-43.

【図１】


準備および
コントロール空間
出入口
隣接空間
ラビリンス
隣接空間
中性子の
円錐
ローブ
ター
ゲット
C-イオン
400 MeV/u
長さ / cm
Breite / cm
コンクリート壁
2,5 ～ 3,5m のクロスバー
鉄のビーム捕獲部
ポリエチレン
1
2
3
4
5

【図２】


3e8 C/s 患者のジオメートリー
線量 / パワー / (Sv/h)
1.000e+00
3.162e-01
1.000e-01
3.162e-02
1.000e-02
3.162e-03
1.000e-03
3.162e-04
1.000e-04
3.162e-05
1.000e-05
3.162e-06
1.000e-06
3.162e-07
1.000e-07
3.162e-08
1.000e-08
3.162e-09
1.000e-09
3.162e-10
1.000e-10
長さ / cm
幅 / cm

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 03/07304

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G21F1/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G21F A61N A61B G21K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	S.AGOSTEO: "Radiation Protection at Medical Accelerators" RADIATION PROTECTION DOSIMETRY, vol. 96, no. 4, 2001, pages 393-406, XP009016939 cited in the application page 394 -page 395; table 2 page 402 -page 403 --- -/--	1

[X] Further documents are listed in the continuation of box C.

[X] Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
17 September 2003	02/10/2003

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Rodriguez Cossio, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 03/07304

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication,where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	BRAHME A ET AL: "Design of a centre for biologically optimised light ion therapy in Stockholm" NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION - B: BEAM INTERACTIONS WITH MATERIALS AND ATOMS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING COMPANY. AMSTERDAM, NL, vol. 184, no. 4, December 2001 (2001-12), pages 569-588, XP004313116 ISSN: 0168-583X figures 6,7	1
A	EP 0 986 070 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 15 March 2000 (2000-03-15) paragraphs '0023!,'0035!	1
A	US 5 703 918 A (AUTERINEN IIRO ET AL) 30 December 1997 (1997-12-30) abstract	1
A	US 3 995 163 A (COLDITZ JOHANNES KARL EWALD) 30 November 1976 (1976-11-30) abstract	1
A	DE 195 17 415 A (METALLVEREDLUNG GMBH & CO KG) 21 November 1996 (1996-11-21) abstract	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/EP 03/07304

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)			Publication date
EP 0986070	A	15-03-2000	EP	0986070	A1	15-03-2000
			BR	9913594	A	12-06-2001
			CA	2343525	A1	23-03-2000
			WO	0016342	A1	23-03-2000
			EP	0986071	A2	15-03-2000
			EP	1112579	A1	04-07-2001
			JP	2002525135	T	13-08-2002
US 5703918	A	30-12-1997	FI	92890	B	30-09-1994
			AT	164258	T	15-04-1998
			AU	6723794	A	03-01-1995
			CA	2165300	A1	22-12-1994
			CZ	9503081	A3	17-04-1996
			DE	69409110	D1	23-04-1998
			EP	0704093	A1	03-04-1996
			WO	9429881	A1	22-12-1994
			JP	8511619	T	03-12-1996
US 3995163	A	30-11-1976	NL	7402505	A	27-08-1975
			DE	2507246	A1	28-08-1975
			FR	2262379	A1	19-09-1975
			GB	1498530	A	18-01-1978
			JP	50124096	A	29-09-1975
DE 19517415	A	21-11-1996	DE	19517415	A1	21-11-1996
			DE	19680456	D2	16-10-1997
			WO	9636972	A1	21-11-1996

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 03/07304

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G21F1/12

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G21F A61N A61B G21K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	S.AGOSTEO: "Radiation Protection at Medical Accelerators" RADIATION PROTECTION DOSIMETRY, Bd. 96, Nr. 4, 2001, Seiten 393-406, XP009016939 in der Anmeldung erwähnt Seite 394 -Seite 395; Tabelle 2 Seite 402 -Seite 403 --- -/--	1

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

[X] Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
17. September 2003	02/10/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	Rodriguez Cossio, J

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Juli 1992)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 03/07304

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	BRAHME A ET AL: "Design of a centre for biologically optimised light ion therapy in Stockholm" NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION - B: BEAM INTERACTIONS WITH MATERIALS AND ATOMS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING COMPANY. AMSTERDAM, NL, Bd. 184, Nr. 4, Dezember 2001 (2001-12), Seiten 569-588, XP004313116 ISSN: 0168-583X Abbildungen 6,7	1
A	EP 0 986 070 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 15. März 2000 (2000-03-15) Absätze '0023!,'0035!	1
A	US 5 703 918 A (AUTERINEN IIRO ET AL) 30. Dezember 1997 (1997-12-30) Zusammenfassung	1
A	US 3 995 163 A (COLDITZ JOHANNES KARL EWALD) 30. November 1976 (1976-11-30) Zusammenfassung	1
A	DE 195 17 415 A (METALLVEREDLUNG GMBH & CO KG) 21. November 1996 (1996-11-21) Zusammenfassung	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 03/07304

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0986070 A	15-03-2000	EP 0986070 A1	15-03-2000
		BR 9913594 A	12-06-2001
		CA 2343525 A1	23-03-2000
		WO 0016342 A1	23-03-2000
		EP 0986071 A2	15-03-2000
		EP 1112579 A1	04-07-2001
		JP 2002525135 T	13-08-2002
US 5703918 A	30-12-1997	FI 92890 B	30-09-1994
		AT 164258 T	15-04-1998
		AU 6723794 A	03-01-1995
		CA 2165300 A1	22-12-1994
		CZ 9503081 A3	17-04-1996
		DE 69409110 D1	23-04-1998
		EP 0704093 A1	03-04-1996
		WO 9429881 A1	22-12-1994
		JP 8511619 T	03-12-1996
US 3995163 A	30-11-1976	NL 7402505 A	27-08-1975
		DE 2507246 A1	28-08-1975
		FR 2262379 A1	19-09-1975
		GB 1498530 A	18-01-1978
		JP 50124096 A	29-09-1975
DE 19517415 A	21-11-1996	DE 19517415 A1	21-11-1996
		DE 19680456 D2	16-10-1997
		WO 9636972 A1	21-11-1996

Formblatt PCT/ISA/210 (Anhang Patentfamilie)(Juli 1992)

フロントページの続き

(51)Int.Cl.[7] ＦＩ テーマコード（参考）
Ｇ２１Ｋ 5/04 Ｇ２１Ｋ 5/04 Ａ

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DK,DM,DZ,EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(74)代理人 230100044
弁護士 ラインハルト・アインゼル
(72)発明者 ゲオルク フェーレンバッハー
ドイツ連邦共和国 ミュールタール ボーレンミューレンヴェーク １３
(72)発明者 フランク グータームート
ドイツ連邦共和国 ベンスハイム レオーグレヴェーニッヒーシュトラーセ ７
(72)発明者 トールステン ラドン
ドイツ連邦共和国 オーバーーメールレン ウージンガー シュトラーセ ８３
Ｆターム(参考) 4C082 AA01 AC04 AC07 AR01 AR20 AT04