

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6868017号
(P6868017)

(45) 発行日 令和3年5月12日(2021.5.12)

(24) 登録日 令和3年4月13日(2021.4.13)

(51) Int.Cl.	F I		
G 2 1 C 5/12 (2006.01)	G 2 1 C	5/12	
A 6 1 N 5/10 (2006.01)	A 6 1 N	5/10	H
G 2 1 K 1/00 (2006.01)	G 2 1 K	1/00	N
G 2 1 K 3/00 (2006.01)	G 2 1 K	3/00	Y

請求項の数 8 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2018-519439 (P2018-519439)	(73) 特許権者	515153495
(86) (22) 出願日	平成28年7月12日 (2016.7.12)		
(65) 公表番号	特表2018-536154 (P2018-536154A)		南京中硼▲聯▼康医▲療▼科技有限公司
(43) 公表日	平成30年12月6日 (2018.12.6)		Neuboron Medtech Lt d.
(86) 国際出願番号	PCT/CN2016/089734		中国江▲蘇▼省南京市江▲寧▼区▲龍▼眠
(87) 国際公開番号	W02017/063407		大道568号6棟3楼
(87) 国際公開日	平成29年4月20日 (2017.4.20)		3rd Floor, Block 6,
審査請求日	平成30年12月19日 (2018.12.19)		NO. 568, Longmian
(31) 優先権主張番号	201510665812.2		Ave, Jiangning Dist
(32) 優先日	平成27年10月15日 (2015.10.15)		riect, Nanjing, Jian
(33) 優先権主張国・地域又は機関	中国 (CN)	(74) 代理人	100169904
前置審査			弁理士 村井 康司
		(74) 代理人	100159916
			弁理士 石川 貴之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 中性子減速材

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

中性子減速材であって、
Mg 元素、Al 元素および F 元素を含み、
Mg、Al 及び F の 3 つの元素の重量は、前記中性子減速材に占める重量パーセントが、それぞれ、3.5% Mg 37.1%、5.0% Al 90.4%、及び、5.8% F 67.2% であり、

Mg、Al 及び F の 3 つの元素の重量の合計は、前記中性子減速材の総重量の 100% を占め、

前記中性子減速材は、混合粉末コンパクトまたは混合粉末焼結の形態でビーム成形体内に配置されて前記ビーム成形体の減速体とし、

前記中性子減速材の物質の組成は、MgF₂ および Al であることを特徴とする、
中性子減速材。

【請求項 2】

前記中性子減速材に⁶Li 含有物質を添加して 汚染を低減させ、
前記⁶Li 含有物質の添加量は、前記中性子減速材の総重量の 0.1% ~ 10% であることを特徴とする、

請求項 1 に記載の中性子減速材。

【請求項 3】

前記中性子減速材の密度は、理論密度の 60% ~ 100% であることを特徴とする、

10

20

請求項 1 に記載の中性子減速材。

【請求項 4】

前記中性子減速材の密度と理論密度との比と、Al 元素の重量が前記中性子減速材に占める重量パーセントとの間の関係は、

前記中性子減速材の密度が理論密度の 60% であるときに、Al 元素の重量が前記中性子減速材に占める重量パーセントは、35% Al 70% であり、

前記中性子減速材の密度が理論密度の 80% であるときに、Al 元素の重量が前記中性子減速材に占める重量パーセントは、50% Al 80% であり、

前記中性子減速材の密度が理論密度の 100% であるときに、Al 元素の重量が前記中性子減速材に占める重量パーセントは、65% Al 90% である、

からなるグループから選択されることを特徴とする、

請求項 1 に記載の中性子減速材。

10

【請求項 5】

前記中性子減速材の密度と理論密度との比と、Al と MgF₂ との間の重量比との間の関係は、

前記中性子減速材の密度が理論密度の 60% であるときに、Al と MgF₂ との重量比は 11 : 9 であり、

前記中性子減速材の密度が理論密度の 80% であるときに、Al と MgF₂ との重量比は 13 : 7 であり、

前記中性子減速材の密度が理論密度の 100% であるときに、Al と MgF₂ との重量比は 4 : 1 である、

からなるグループから選択されることを特徴とする、

請求項 1 に記載の中性子減速材。

20

【請求項 6】

前記ビーム成形体は、さらに、前記減速体を囲む反射体と、前記減速体に隣接する熱中性子吸収体と、前記ビーム成形体内に設けられた放射シールドと、を含むことを特徴とする、

請求項 1 に記載の中性子減速材。

【請求項 7】

前記ビーム成形体は、加速器中性子捕捉療法装置に用いられ、

前記加速器中性子捕捉療法装置は、

加速器と、

前記加速器で加速される荷電粒子ビームと、

前記荷電粒子ビームを通過するための荷電粒子ビーム入口と、

前記荷電粒子ビームとの核反応によって中性子ビームを発生する中性子発生部と、

前記中性子発生部で発生された中性子ビーム線束および品質を調整するためのビーム成形体と、

前記ビーム成形体に隣接するビーム出口と、

を含み、

前記中性子発生部は、前記ビーム成形体に收容されることを特徴とする、

請求項 6 に記載の中性子減速材。

30

40

【請求項 8】

前記中性子減速材に LiF を添加して 線汚染を低減させ、

前記 LiF の添加量は、前記中性子減速材の総重量の 0.1% ~ 10% であることを特徴とする、

請求項 2 に記載の中性子減速材。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は放射線減速材に関し、特に中性子減速材に関する。

【背景技術】

【0002】

加速器の発展に伴い、ホウ素中性子捕捉療法（BNCT）技術は急速な発展の段階に進み、ホウ素中性子捕捉療法の原理は、加速器によって発生された陽子は、ターゲットと衝突し、または核反応によって異なるエネルギーを持つ中性子を発生し、これらの異なるエネルギーを持つ中性子は、ビーム成形体によってエネルギーがkeVの過熱中性子に調整した後に、さらに人体に入射して熱中性子になった後に、腫瘍細胞のホウ素含有薬剤と反応し、その放射線のエネルギーは腫瘍細胞を死滅させることができ、死滅範囲は細胞内のみ限定され、正常組織にほとんど害はない。

10

【0003】

ターゲットから発生された中性子は、そのエネルギー分布の範囲が大きく、同時に熱中性子、過熱中性子および高速中性子を含み、またガンマ線を含み、これらの治療に寄与しない放射線は、正常組織の非選択的線量堆積の割合が大きくなり、したがって、正常組織への損傷が大きくなる。ビーム成形体中の減速材を中性子減速材とする適用の1つは、ビーム品質を向上させ、かつ治療に不要な放射線の量を低減するための鍵である。したがって、ビーム成形体中の中性子減速材は、BNCT技術の研究分野ではホットスポットとなり、中性子減速材の優劣は主に中性子ビームの品質によって反映され、中性子ビームの品質は空気ビーム品質および偽ボディービームの品質に分けられ、そのうち、空気ビームの品質は過熱中性子ビーム線束、高速中性子汚染、ガンマ線汚染、熱中性子および過熱中性子線束比および中性子前進性を用いて総合的に評価し、偽ボディービームの品質はビームが偽ボディー内での線量分布および偽ボディー内部のビームの治療効果によって反映され、偽ボディービームの品質要素は有効治療深度（AD）、有効治療深度線量率（ADDR）および有効治療線量比（AR）ならびに治療時間に加えて、30.0RBE-Gy治療可能深度を用いて腫瘍の治療可能な有効な最大深度を反映することができる。

20

【0004】

現在偽ボディービームの品質による中性子減速材への選別は見つかっていない。

【発明の概要】

【0005】

本発明の1つの目的は、優れた偽ボディービーム品質を有し、特に、優れた腫瘍の有効治療深度を有する中性子減速材を提供することである。

30

本発明のさらなる目的は、前記中性子減速材内に一定量のLi含有物質を添加して過熱中性子ビーム中の線汚染を低減させることである。

【0006】

本発明の目的および他の利点を実現するために、本発明は、中性子減速材を提供し、前記中性子減速材はMg元素、Al元素およびF元素を含み、そのうち、Mg、Al、Fの3つの元素の重量は、前記中性子減速材に占める重量パーセントが、それぞれ、3.5% Mg 37.1%、5.0% Al 90.4%、5.8% F 67.2%であり、Mg、Al、Fの3つの元素の重量合計は前記中性子減速材の総重量の100%を占める。

40

【0007】

好ましくは、前記中性子減速材において、前記中性子減速材に⁶Li含有物質を添加して汚染を低減させ、そのうち、⁶Li含有物質の添加量は前記中性子減速材の総重量の0.1%~10%である。好ましくは、前記中性子減速材に自然のLiFを添加して線汚染を低減させ、そのうち、LiFの添加量は前記中性子減速材の総重量の0.1%~10%である。

【0008】

好ましくは、前記中性子減速材において、前記中性子減速材の密度は理論密度の60%~100%である。

好ましくは、前記中性子減速材において、前記中性子減速材の物質の組成はMgF₂お

50

よびAlである。

【0009】

好ましくは、前記中性子減速材において、前記中性子減速材の密度と理論密度との比と、Al元素の重量が前記中性子減速材に占める重量パーセントとの間の関係は以下のグループから選択され、前記中性子減速材の密度が理論密度の60%であるときに、Al元素の重量が前記中性子減速材に占める重量パーセントは、35% Al 70%であり、前記中性子減速材の密度が理論密度の80%であるときに、Al元素の重量が前記中性子減速材に占める重量パーセントは、50% Al 80%であり、前記中性子減速材の密度が理論密度であるときに、Al元素の重量が前記中性子減速材に占める重量パーセントは、65% Al 90%である。

10

【0010】

好ましくは、前記中性子減速材において、前記中性子減速材の密度と理論密度との比と、AlとMgF₂との間の重量比との間の関係は以下のグループから選択され、前記中性子減速材の密度が理論密度の60%であるときに、AlとMgF₂との重量比は11:9であり、前記中性子減速材の密度が理論密度の80%であるときに、AlとMgF₂との重量比は13:7であり、前記中性子減速材の密度が理論密度であるときに、AlとMgF₂との重量比は4:1である。

【0011】

好ましくは、前記中性子減速材において、前記中性子減速材は積層または混合粉末コンパクト、または混合粉末焼結の形態でビーム成形体内に配置されて前記ビーム成形体の減速体とする。

20

【0012】

そのうち、前記ビーム成形体は、さらに、前記減速体を囲む反射体と、前記減速体に隣接する熱中性子吸収体と、前記ビーム成形体内に設けられた放射シールドとを含む。

好ましくは、前記ビーム成形体は加速器中性子捕捉療法装置に用いられ、前記加速器中性子捕捉療法装置は、加速器と、前記加速器で加速される荷電粒子ビームと、前記荷電粒子ビームを通過するための荷電粒子ビーム入口と、前記荷電粒子ビームとの核反応によって中性子ビームを発生する中性子発生部と、前記中性子発生部で発生された中性子ビーム線束および品質を調整するためのビーム成形体と、前記ビーム成形体に隣接するビーム出口とを含み、そのうち、前記中性子発生部は前記ビーム成形体に収容される。

30

【0013】

本発明は、少なくとも以下の有益な効果を有し、Al、MgおよびFの3つの元素を含む中性子減速材は、中性子ビームが優れた偽ボディービーム品質を備えるようにすることができ、例えば、有効治療深度値および30RBE-Gy有効治療深度値であり、BNCTの腫瘍への有効治療深度を向上させ、また、前記中性子減速材に一定量の⁶LiFが添加されると、前記中性子減速材は過熱中性子ビーム中のガンマ線汚染を効果的に低減することができ、偽ボディービーム品質に影響を与えない基礎上で、空気ビーム品質を効果的に向上させる。

【0014】

本発明の他の利点、目標および特徴の一部は以下の説明により反映され、一部は、また、本発明への研究および実践によって当業者にとって理解される。

40

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】図1は加速器に基づくBNCTの平面概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下は図面を参照して本発明をさらに説明し、当業者が明細書の文字を参照して実施できるようにする。

理解すべきことは、本文で使用される“備える”“含有”“含む”などの用語は、1つまたは複数の他の成分または他の組み合わせの存在または添加を排除しない。

50

【 0 0 1 7 】

偽ボディー 8 のビーム品質は直接治療効果に影響を与え、そのうち偽ボディー 8 の元素組成は中性子逸脱および治療線量に影響し、本発明が採用する偽ボディーは Modified Snyder head phantom である。以下の 3 つのパラメータは中性子ビームの治療効果を評価することができる。

【 0 0 1 8 】

1、有効治療深度：

腫瘍の線量は正常組織の最大線量の深度に等しく、この深度の後、ホウ素中性子捕捉の利点が失われても、腫瘍細胞が得られた線量は正常組織の正常線量よりも小さい。このパラメータは、中性子ビームの透過力を表し、有効治療深度が大きいほど、治療可能な治療深度が深いことを表し、単位は cm である。

10

【 0 0 1 9 】

2、有効治療深度の線量率：

すなわち有効治療深度の腫瘍線量率であり、また正常組織の最大線量率に等しい。正常組織が受ける総線量は腫瘍に与えることができる総線量の大きさに影響する因子であるため、パラメータは治療時間の長さに影響を与え、有効治療深度の線量率が大きいほど、腫瘍に特定の線量を与えることに必要な照射時間が短く、単位は cGy / mA - min である。

【 0 0 2 0 】

3、有効治療線量比：

脳の表面から有効治療深度まで、腫瘍および正常組織が受ける平均線量比は、有効治療線量比と呼ばれ、平均線量の計算は、線量-深度曲線積分から得ることができる。有効治療線量比が大きいほど、該中性子ビームの治療効果が高いことを表す。

20

【 0 0 2 1 】

光子および中性子による生物学的線量が異なるため、同等の線量を得るために、高速中性子、熱中性子、光子線量項は、それぞれ異なる組織の相対的な生物学的効果 (RBE) を乗ずる必要がある。

【 0 0 2 2 】

本発明は偽ボディー 8 のビーム品質における治療深度を選択して評価基準とし、線量が 30.0 RBE - Gy である場合、癌細胞の根絶をより確実にすることができ、したがって、我々はまた、30.0 RBE - Gy 治療可能なこのパラメータを用いて、有効治療深度よりも直接的な判断基準とし、偽ボディー 8 のビーム品質の優劣を評価するためのパラメータは以下のとおりである：

30

1、有効治療深度 (AD)

前記のように、このパラメータが大きいほど、治療可能な腫瘍深度が深いことを表し、単位はセンチメートル (cm) である。

【 0 0 2 3 】

2、30.0 RBE - Gy 治療可能深度 (TD)

偽ボディーにビーム中心軸方向に沿う腫瘍の線量が 30.0 RBE - Gy の達成可能な最大深度まで達することができることを表し、単位はセンチメートル (cm) であり、30.0 RBE - Gy の線量投与は、癌細胞への致命的な打撃を確実にすることができ、このパラメータが大きいほど、より深い位置の腫瘍を効果的に殺すことができることを表す。

40

【 0 0 2 4 】

本発明の目的を実現するために、中性子減速材は Mg 元素、Al 元素および F 元素を含み、そのうち、Mg、Al、F の 3 つの元素の重量は、前記中性子減速材に占める重量パーセントが、それぞれ、3.5% Mg 37.1%、5.0% Al 90.4%、5.8% F 67.2% であり、Mg、Al、F の 3 つの元素の重量合計は前記中性子減速材の総重量の 100% を占める。この組み合わせおよび配合は有効治療深度および 30.0 RBE - Gy 治療可能深度を向上させることができ、前記中性子減速材のビームが優

50

れた偽ボディー 8 のビーム品質を有するようにする。

【 0 0 2 5 】

前記中性子減速材において、前記中性子減速材に ^6Li 含有物質を添加して 汚染を低減させ、そのうち、 ^6Li 含有物質の添加量は前記中性子減速材の総重量の 0.1% ~ 10% であり、 ^6Li 含有物質の添加は、前記中性子減速材が優れた偽ボディーのビーム品質を有すると共に、線汚染を効果的に低減できることを保証することができる。

【 0 0 2 6 】

前記中性子減速材において、前記中性子減速材の密度は理論密度の 60% ~ 100% であり、密度が理論密度の 60% より小さいと、減速材からなる減速体積が大きくなり、前記減速体を通するビーム線束が低減し、さらに、治療時間が大きくなる。

10

【 0 0 2 7 】

そのうち、前記中性子減速材の物質の組成は MgF_2 および Al であってもよい。

前記中性子減速材において、前記中性子減速材の密度と理論密度との比と、 Al 元素の重量が前記中性子減速材に占める重量パーセントとの間の関係は以下のグループから選択され、前記中性子減速材の密度が理論密度の 60% であるときに、 Al 元素の重量が前記中性子減速材に占める重量パーセントは、35% Al 70% であり、前記中性子減速材の密度が理論密度の 80% であるときに、 Al 元素の重量が前記中性子減速材に占める重量パーセントは、50% Al 80% であり、前記中性子減速材の密度が理論密度であるときに、 Al 元素の重量が前記中性子減速材に占める重量パーセントは、65% Al 90% であり、上記条件で、30.0 RBE - Gy の達成可能な深度が 7 cm より大きい。

20

【 0 0 2 8 】

前記中性子減速材において、前記中性子減速材の密度と理論密度との比と、 Al と MgF_2 との間の重量比との間の関係は以下のグループから選択され、前記中性子減速材の密度が理論密度の 60% であるときに、 Al と MgF_2 との重量比は 11 : 9 であり、前記中性子減速材の密度が理論密度の 80% であるときに、 Al と MgF_2 との重量比は 13 : 7 であり、前記中性子減速材の密度が理論密度であるときに、 Al と MgF_2 との重量比は 4 : 1 であり、上記条件で、中性子減速材が相応密度での 30.0 RBE - Gy は最大値に達成することができる。

【 0 0 2 9 】

30

前記中性子減速材は積層または混合粉末コンパクト、または混合粉末焼結の形態でビーム成形体 3 内に配置されて前記ビーム成形体 3 の減速体 6 とする。

そのうち、前記ビーム成形体 3 は、さらに、前記減速体 6 を囲む反射体 2 と、前記減速体 6 に隣接する熱中性子吸収体 5 と、前記ビーム成形体内に設けられた放射シールド 4 とを含む。

【 0 0 3 0 】

前記ビーム成形体 3 は加速器中性子捕捉療法装置に用いられ、前記加速器中性子捕捉療法装置は、加速器 1 と、前記加速器 1 で加速される荷電粒子ビームと、前記荷電粒子ビームを通するための荷電粒子ビーム入口と、前記荷電粒子ビームとの核反応によって中性子ビームを発生する中性子発生部 7 と、前記中性子発生部 7 で発生された中性子ビーム線束および品質を調整するためのビーム成形体 3 と、前記ビーム成形体 3 に隣接するビーム出口とを含み、そのうち、前記中性子発生部 7 は前記ビーム成形体に收容される。

40

【 0 0 3 1 】

実験により、 Al 、 Mg および F の 3 つの元素を含む物質は BNCT 中のビーム成形体 3 の中性子減速材とすることは偽ボディーのビーム品質を効果的に向上することができ、 Al 、 Mg および F の 3 つの元素を含む物質の組成タイプは、以下のいくつかを含むが、これらに限定されず、1、 Al および MgF_2 、2、 AlF_3 および MgF_2 、3、 Al 、 AlF_3 および MgF_2 、4、含有 Al 、 Mg 、 F の 3 つの元素を含む焼結体である。これらの Al 、 Mg および F の 3 つの元素を含む物質は、均一に混合した混合物であってもよいし、また異なる物質で堆積されてもよく、以下の実施例 1、2、3、6 は中性子減

50

速材の厚さが72.5cmである基礎上で完成され、他の実施例は中性子減速材の厚さが60cmである基礎上で完成される。ここで、採用する中性子減速材の厚さは該中性子減速材の有益な効果のみを説明するためであり、中性子減速材の厚さを限定するものではない。

【実施例1】

【0032】

異なる重量部のAlおよびMgF₂を取り、その混合粉末コンパクトの密度が理論密度の60%である場合、MCNPシミュレーション計算によって有効治療深度および腫瘍30RBE-Gyが位置する深度を得て、結果は表1に示すとおりである：

【0033】

【表1】

表1：AlおよびMgF₂混合粉末コンパクトの密度が理論密度の60%である場合の偽ボディーのビーム品質

AlおよびMgF ₂ の重量比	3つの元素の含有量			有効治療深度 (cm)	腫瘍30RBE-Gyが 位置する深度 (cm)
	Al	Mg	F		
5:95	5.0%	37.1%	57.9%	12.13	5.61
10:90	10.0%	35.1%	54.9%	12.35	6.17
15:85	15.0%	33.2%	51.8%	12.50	6.30
20:80	20.0%	31.2%	48.8%	12.57	6.60
25:75	25.0%	29.3%	45.7%	12.66	6.79
30:70	30.0%	27.3%	42.7%	12.72	6.94
35:65	35.0%	25.4%	39.6%	12.61	7.17
40:60	40.0%	23.4%	36.6%	12.85	7.16
45:55	45.0%	21.5%	33.5%	12.98	7.20
50:50	50.0%	19.5%	30.5%	12.82	7.15
55:45	55.0%	17.6%	27.4%	12.96	7.34
60:40	60.0%	15.6%	24.4%	13.05	7.23
65:35	65.0%	13.7%	21.3%	12.86	7.24
70:30	70.0%	11.7%	18.3%	13.05	7.05
75:25	75.0%	9.8%	15.2%	13.09	6.88
80:20	80.0%	7.8%	12.2%	13.11	6.31
85:15	85.0%	5.9%	9.1%	12.83	5.73
90:10	90.0%	3.9%	6.1%	12.78	4.95

【実施例2】

【0034】

異なる重量部のAlおよびMgF₂を取り、MCNPのシミュレーション計算によってそれぞれ密度が理論密度の80%であるAlおよびMgF₂混合物コンパクトの中性子減速材、および密度が理論密度の80%であるAlおよびMgF₂焼結形態の中性子減速材の有効治療深度および腫瘍30RBE-Gyが位置する深度を得て、結果により、混合物組成および配合が同じである場合、均一に混合した焼結物および均一に混合したコンパクトの偽ボディーのビーム品質に差異がなく、その有効治療深度および30RBE-Gyが位置する深度の結果は表2に示すとおりである：

【0035】

10

20

30

40

【表 2】

表 2 : Al および Mg F₂ 混合物の密度が理論密度の 80% である場合の偽ボディ
ーのビーム品質

Al および MgF ₂ の重量比	3 つの元素の含有量			有効治療 深度 (cm)	腫瘍 30RBE-Gy が位 置する深度 (cm)
	Al	Mg	F		
5:95	5.0%	37.1%	57.9%	11.90	4.00
10:90	10.0%	35.1%	54.9%	11.72	4.28
15:85	15.0%	33.2%	51.8%	11.72	4.95
20:80	20.0%	31.2%	48.8%	12.05	5.23
25:75	25.0%	29.3%	45.7%	12.17	5.54
30:70	30.0%	27.3%	42.7%	12.23	5.75
35:65	35.0%	25.4%	39.6%	12.42	6.17
40:60	40.0%	23.4%	36.6%	12.34	6.55
45:55	45.0%	21.5%	33.5%	12.50	6.85
50:50	50.0%	19.5%	30.5%	12.78	7.24
55:45	55.0%	17.6%	27.4%	12.78	7.20
60:40	60.0%	15.6%	24.4%	12.76	7.33
65:35	65.0%	13.7%	21.3%	12.94	7.53
70:30	70.0%	11.7%	18.3%	12.96	7.44
75:25	75.0%	9.8%	15.2%	12.97	7.34
80:20	80.0%	7.8%	12.2%	13.25	7.34
85:15	85.0%	5.9%	9.1%	13.17	6.92
90:10	90.0%	3.9%	6.1%	13.26	6.67

10

20

【実施例 3】

【0036】

異なる重量部の Al および Mg F₂ を取り、その混合粉末焼結物の密度が理論密度である場合、MCNP シミュレーション計算によって有効治療深度および 30RBE-Gy が位置する深度を得て、結果は表 3 に示すとおりである：

【0037】

【表 3】

【表 3】

表 3 : A l および M g F₂ 焼結混合物の密度が理論密度である場合の偽ボディーの
ビーム品質

Al および MgF ₂ の重量比	3つの元素の含有量			有効治療 深度 (cm)	腫瘍 30RBE-Gy が位 置する深度 (cm)
	Al	Mg	F		
5:95	5.0%	37.1%	57.9%	10.93	2.34
10:90	10.0%	35.1%	54.9%	10.83	2.78
15:85	15.0%	33.2%	51.8%	11.31	3.38
20:80	20.0%	31.2%	48.8%	11.43	3.88
25:75	25.0%	29.3%	45.7%	11.60	4.19
30:70	30.0%	27.3%	42.7%	11.92	4.47
35:65	35.0%	25.4%	39.6%	11.97	5.33
40:60	40.0%	23.4%	36.6%	12.19	5.63
45:55	45.0%	21.5%	33.5%	12.08	5.94
50:50	50.0%	19.5%	30.5%	12.52	6.40
55:45	55.0%	17.6%	27.4%	12.58	6.96
60:40	60.0%	15.6%	24.4%	12.49	6.89
65:35	65.0%	13.7%	21.3%	12.64	7.29
70:30	70.0%	11.7%	18.3%	12.84	7.26
75:25	75.0%	9.8%	15.2%	12.99	7.45
80:20	80.0%	7.8%	12.2%	13.06	7.93
85:15	85.0%	5.9%	9.1%	13.09	7.45
90:10	90.0%	3.9%	6.1%	13.10	7.26

10

20

【実施例 4】

【0038】

異なる重量部の A l および M g F₂ を取り、A l および M g F₂ が堆積形態で中性子減速材を組成し、前記中性子減速材の密度が理論密度である場合、M C N P シミュレーション計算によって有効治療深度および 3 0 R B E - G y が位置する深度を得て、結果は表 4 に示すとおりである：

【0039】

【表 4】

表 4 : A l および M g F₂ が堆積形態で組成された密度が理論密度である場合の中
性子減速材の偽ボディーのビーム品質

3つの元素の含有量			有効治療深度 (cm)	腫瘍30RBE-Gy が位置する深度 (cm)
Al	Mg	F		
7.2%	36.2%	56.6%	10.82	2.74
14.6%	33.3%	52.1%	11.58	3.42
22.2%	37.3%	47.4%	11.59	3.67
30.0%	27.3%	42.7%	12.15	4.35
38.0%	24.2%	37.8%	12.01	5.04
46.2%	21.0%	32.8%	12.40	5.50
54.6%	17.7%	27.7%	12.97	6.17
63.2%	14.4%	22.5%	12.71	6.87
72.0%	10.9%	17.1%	13.12	7.11
81.1%	7.4%	11.5%	13.13	7.18
90.4%	3.7%	5.8%	13.11	6.83

40

50

【実施例 5】

【0040】

異なる重量部の AlF_3 と MgF_2 を取り、 AlF_3 および MgF_2 が堆積形態で中性子減速材を組成し、前記中性子減速材の密度が理論密度である場合、MCNPシミュレーション計算によって有効治療深度および 30RBE-Gy が位置する深度を得て、結果は表 5 に示すとおりである：

【0041】

【表 5】

表 5： AlF_3 および MgF_2 が堆積形態で組成された密度が理論密度である場合
の中性子減速材の偽ボディーのビーム品質

10

3つの元素の含有量			有効治療深度 (cm)	腫瘍30RBE-Gyが 位置する深度(cm)
Al,	Mg	F		
2.5%	36.0%	61.5%	10.84	2.58
5.0%	33.0%	62.0%	10.86	2.31
7.5%	29.9%	62.6%	11.06	2.56
10.1%	26.8%	63.1%	10.99	2.77
12.7%	23.6%	63.7%	11.07	2.88
15.4%	20.4%	64.3%	11.05	2.97
18.0%	17.1%	64.9%	11.22	3.11
20.8%	13.8%	65.4%	11.49	3.16
23.5%	10.4%	66.0%	11.42	3.61
26.4%	7.0%	66.6%	11.73	3.72
29.2%	3.5%	67.2%	11.61	3.84

20

【実施例 6】

【0042】

線汚染は単位過熱中性子線束が伴う線線量として定義され、単位は $Gy \cdot cm^2 / n$ である。研究により、 6Li 含有物質が偽ボディーのビーム品質を低減しない前提で中性子ビーム中の線の含有量を効果的に低減することができ、 6Li 含有物質は、 6Li 元素、 LiF 、 Li_2CO_3 、 Li_2O および Li_2C_2 を含むが、これらに限定されず、本実験は自然の LiF を例にして 6Li 含有物質の添加が偽ボディーのビーム品質および線含有量への影響を説明する。当業者は、発明者らは、ここで、自然の LiF を例にして、 LiF 中の 6Li の含有量を限定するものではなく、自然の 6Li 以外に、 6Li 含有量は他であってもよい。表 6 は <実施例 2> における理論密度の 80% の Al と MgF_2 混合粉末コンパクトの基礎上で、それぞれ質量が中性子減速材質量の 0.1%、5% および 10% の LiF を添加した後に偽ボディーのビーム品質および線汚染状況への影響である。

30

40

【0043】

【表 6】

表 6：異なる量の LiF が偽ボディーのビーム品質および γ 線汚染状況への影響

3つの元素の含有量			質量が中性子減速材 質量の0.1%の LiFを添加する			質量が中性子減速材 質量の5%のLiFを 添加する			質量が中性子減速材 質量の10%のLiF を添加する		
Al	Mg	F	有効 治療 深度 (cm)	腫瘍 30R BE- Gy が位 置す る深 度 (cm)	γ 線汚 染(Gy- cm ² /n)	有効 治療 深度 (cm)	腫瘍 30R BE- Gy が位 置す る深 度 (cm)	γ 線汚 染(Gy- cm ² /n)	有効 治療 深度 (cm)	腫瘍 30R BE- Gy が位 置す る深 度 (cm)	γ 線汚 染(Gy- cm ² /n)
5%	36.77%	58.23%	11.85	4.98	7.47E-13	13.16	8.66	7.85E-14	13.39	9.24	5.69E-14
10%	34.84%	55.16%	12.14	5.23	8.03E-13	12.85	8.58	1.45E-13	13.43	9.23	9.71E-14
15%	32.90%	52.01%	12.11	5.71	7.85E-13	13.05	9.30	9.73E-14	13.60	9.67	1.67E-13
20%	30.97%	49.03%	12.08	5.91	7.08E-13	13.29	8.75	1.17E-13	13.41	9.63	9.83E-14
25%	29.03%	45.97%	12.30	6.05	5.76E-13	13.03	8.98	1.51E-13	13.23	9.29	1.32E-13
30%	27.10%	42.90%	12.77	6.35	6.07E-13	13.13	8.97	9.98E-14	13.45	9.40	1.05E-13
35%	25.16%	39.84%	12.60	6.63	5.76E-13	13.24	9.27	8.44E-14	13.48	9.29	8.91E-14
40%	23.23%	36.77%	12.55	7.17	5.34E-13	13.33	9.25	1.07E-13	13.31	9.22	1.1E-13
45%	21.29%	33.71%	12.57	7.10	4.30E-13	13.07	9.24	1.06E-13	13.56	9.37	1.15E-13
50%	19.35%	30.65%	12.84	7.37	3.54E-13	13.32	9.14	9.99E-14	13.40	9.50	7.37E-14
55%	17.42%	27.58%	12.83	7.42	3.57E-13	13.10	9.05	1.67E-13	13.43	9.38	6.03E-14
60%	15.48%	24.52%	12.95	7.68	3.62E-13	13.46	8.76	7.89E-14	13.44	9.34	6.04E-14
65%	13.55%	21.45%	12.99	7.72	2.98E-13	13.33	8.88	1.09E-13	13.44	8.87	8.48E-14
70%	11.61%	18.39%	13.08	7.58	3.23E-13	13.38	8.89	9.39E-14	13.30	8.91	7.33E-14
75%	9.68%	15.32%	13.00	7.68	3.53E-13	13.22	8.54	7.72E-14	13.55	8.56	8.29E-14
80%	7.74%	12.26%	13.19	7.48	2.69E-13	13.40	8.25	7.9E-14	13.46	8.47	9.04E-14
85%	5.81%	9.19%	13.21	7.15	2.60E-13	13.38	7.93	9.12E-14	13.49	8.38	8.26E-14
90%	3.87%	6.13%	13.18	6.77	2.95E-13	13.38	7.56	8.55E-14	13.50	7.91	8.82E-14

10

20

30

【0044】

本発明の効果を説明するために、発明者らは以下の比較実験を提供する：

【0045】

<比較例1>

<比較例1>において、密度が理論密度の60%のコンパクトにAlを添加しなく、すなわちアルミニウムの質量分率が0%であるときに、有効治療深度は12.24cmであり、腫瘍30RBE-Gyが位置する深度は5.39cmである。

【0046】

<比較例2>

<比較例2>において、密度が理論密度の80%のコンパクトにAlを添加しなく、すなわちアルミニウムの質量分率が0%であるときに、有効治療深度は11.39cmであり、腫瘍30RBE-Gyが位置する深度は3.73cmである。

【0047】

<比較例3>

<比較例3>において、密度が理論密度の焼結物にAlを添加しなく、すなわちアルミニウムの質量分率が0%であるときに、有効治療深度は10.62cmであり、腫瘍30RBE-Gyが位置する深度は1.96cmである。

【0048】

40

50

< 比較例 4 >

< 比較例 4 >において、密度が理論密度の堆積物に AlF_3 を添加しなく、このとき、Mg 元素の重量比は 39% であり、その有効治療深度は 11.1 cm であり、腫瘍 30 RBE - Gy が位置する深度は 2.59 cm である。

【 0 0 4 9 】

< 比較例 5 >

< 比較例 2 > の実験条件で LiF が添加されないとき、中性子減速材を通過する過熱中性子線における線汚染状況は表 7 に示すとおりである。

【 0 0 5 0 】

【 表 7 】

10

表 7 : 理論密度の 80% の Al と MgF_2 に LiF を添加しないときの過熱中性子線における γ 線汚染状況

3つの元素の含有量			γ 線汚染(Gy-cm ² /n)
Al	Mg	F	
5%	36.77%	58.23%	1.17E-12
10%	4.84%	55.16%	1.13E-12
15%	32.90%	52.01%	1.08E-12
20%	30.97%	49.03%	1.01E-12
25%	29.03%	45.97%	8.71E-13
30%	27.10%	42.90%	8E-13
35%	25.16%	39.84%	7.56E-13
40%	23.23%	36.77%	6.15E-13
45%	21.29%	33.71%	6.38E-13
50%	19.35%	30.65%	5.3E-13
55%	17.42%	27.58%	4.55E-13
60%	15.48%	24.52%	4.26E-13
65%	13.55%	21.45%	4.09E-13
70%	11.61%	18.39%	4.05E-13
75%	9.68%	15.32%	3.48E-13
80%	7.74%	12.26%	3.24E-13
85%	5.81%	9.19%	3.12E-13
90%	3.87%	6.13%	2.93E-13

20

30

【 0 0 5 1 】

上記各実施例および比較例 1 ~ 4 により、アルミニウム元素の添加は偽ボディーのビーム品質を明らかに向上することができ、具体的には、有効治療深度および腫瘍 30 RBE - Gy が位置する深度を効果的に向上させ、かつアルミニウム元素含有量の増加に伴い、有効治療深度が上昇する傾向があり、腫瘍 30 RBE - Gy が位置する深度は上昇から低減への傾向がある。

【 0 0 5 2 】

40

< 実施例 1 >、< 実施例 2 > および < 実施例 3 > により、成分および含有量が同じである場合、異なる密度での偽ボディーのビーム品質が異なり、かつ異なる密度での腫瘍 30 RBE - Gy が位置する深度の最大値が対応するアルミニウム元素の含有量が異なり、したがって、中性子減速材の密度も偽ボディーのビーム品質に影響することができる。

【 0 0 5 3 】

< 実施例 2 > および < 実施例 3 > により、成分が同じ、中性子減速材の組成構造が異なる場合、アルミニウム元素含有量の増加に伴い、も偽ボディーのビーム品質の向上状況が同じであり、したがって、異なる組成形態（例えば、均一に混合したコンパクト、堆積および焼結）は本実験の有益な効果に影響しない。

【 0 0 5 4 】

50

<比較例4>および<比較例5>を比較することにより、中性子減速材において、アルミニウム元素の増加に伴い、偽ボディーのビーム品質が明らかに向上され、それにより、どのような物質で組成されても、Mg、Al、Fの3つの元素を含有する物質で組成された中性子減速材は、偽ボディーのビーム品質を向上することができる。

【0055】

<実施例6>は<実施例2>の基礎上で完成され、2つの実施例を比較すると、異なる量のLiFを添加した後、中性子減速材の偽ボディーのビーム品質はいずれも向上され、かつLiF添加量の増加に伴い、偽ボディーのビーム品質の向上程度も増加される。

【0056】

<実施例6>と<比較例5>を比較することにより、LiFの添加は過熱中性子線中の線の含有量を効果的に低減することができる。実験により、LiFは偽ボディーのビーム品質を向上させる前提で、線含有量の効果的な低減は⁶Li元素の存在に依存し、したがって、⁶Li含有物質の添加は偽ボディーのビーム品質を向上させ、かつ過熱中性子線中の線汚染を低減させることができる。

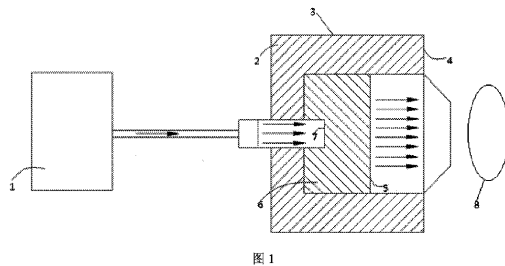
【0057】

本発明の実施方法は既に開示されたが、明細書および実施形態での適用のみに限定されない。それは、本発明に適した様々な領域に完全に適用することができる。当業者であれば、他の変更を容易に実現することができる。したがって、特許請求および等価範囲によって定義される一般的な概念から逸脱することなく、本発明は特定の詳細および本明細書における例示的な図面に限定されるものではない。

10

20

【図1】



フロントページの続き

(72)発明者 劉 淵豪

中国 2 1 1 1 1 2 江 蘇 省南京市江 寧 区 龍 眠大道5 6 8号6棟3楼

(72)発明者 陳 韋霖

中国 2 1 1 1 1 2 江 蘇 省南京市江 寧 区 龍 眠大道5 6 8号6棟3楼

審査官 大門 清

(56)参考文献 中国特許出願公開第1 0 4 5 4 8 3 8 8 (C N , A)

米国特許出願公開第2 0 1 5 / 0 1 0 5 6 0 4 (U S , A 1)

特表平0 8 - 5 1 1 6 1 9 (J P , A)

特開2 0 1 5 - 0 5 2 5 4 0 (J P , A)

特開2 0 1 4 - 0 3 2 1 6 8 (J P , A)

中国特許出願公開第1 0 4 5 1 1 0 9 6 (C N , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

G 2 1 C 5 / 1 2

A 6 1 N 5 / 1 0

G 2 1 K 1 / 0 0、3 / 0 0