

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-329915

(P2006-329915A)

(43) 公開日 平成18年12月7日(2006.12.7)

(51) Int. Cl.

G 2 1 F 1/08 (2006.01)

F 1

G 2 1 F 1/08

テーマコード (参考)

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2005-156772 (P2005-156772)
 (22) 出願日 平成17年5月30日 (2005.5.30)

(71) 出願人 504409543
 国立大学法人秋田大学
 秋田県秋田市手形学園町 1-1
 (71) 出願人 501204525
 独立行政法人海上技術安全研究所
 東京都三鷹市新川 6丁目 38番 1号
 (71) 出願人 592142991
 ジークライト株式会社
 山形県米沢市大字板谷 3 1 5 番地
 (74) 代理人 100110537
 弁理士 熊谷 繁

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放射線遮蔽材

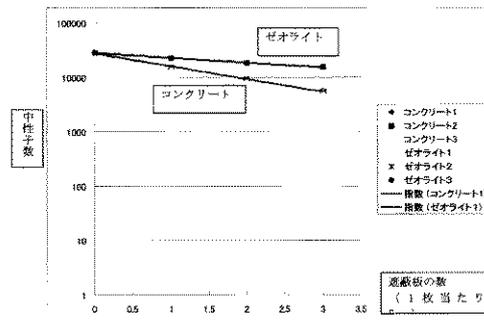
(57) 【要約】

【課題】 本発明においては、原子力施設等の中性子及びガンマ線が混在する放射線場において、簡略な設備で作製できかつ実用的に使用出来る遮蔽材としての最高の遮蔽性能、実用的な耐熱性と耐酸性(フッ化水素酸を除く)を有し、軽量で、また低放射化特性を有する放射線遮蔽材を提供することを目的とする。

【解決手段】 本発明の放射線遮蔽材は、中性子遮蔽効果の大きい水素元素含有率の高い多孔質ゼオライト、2、6、8、14、20、28、50、82、126個の中性子または陽子を含むイオン交換性元素(但し水素を加えニッケルと鉛は除く)、高エネルギー中性子線及びガンマ線に高い遮蔽効果を示す原子番号40以上の重金属と、熱中性子吸収材を組み合わせるものである。

【選択図】 図 2

ゼオライトの中性子線遮蔽効果を示すグラフ図



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

中性子遮蔽効果の大きい水素元素含有率の高いゼオライトと、高エネルギー中性子線及びガンマ線に高い遮蔽効果を示すイオン交換性元素及び原子番号40以上の重金属、並びに熱中性子吸収材を組み合わせることを特徴とする放射線遮蔽材。

【請求項 2】

前記ゼオライトがシリカ含有量の高い天然又は人工ゼオライトよりなることを特徴とする請求項 1 記載の放射線遮蔽材。

【請求項 3】

前記イオン交換性元素が、水素及び2、6、8、14、20、28、50、82、126個の中性子または陽子を含む、ニッケルと鉛は除く元素よりなることを特徴とする請求項 1 記載の放射線遮蔽材。

10

【請求項 4】

前記重金属がジルコニウム又はハフニウムであることを特徴とする請求項 1 記載の放射線遮蔽材。

【請求項 5】

前記熱中性子吸収材がリチウム又はホウ素を含む化合物であることを特徴とする請求項 1 記載の放射線遮蔽材。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

20

【0001】

本発明は、軽量の多孔質ゼオライトをベースとし、中性子線とガンマ線を同時に遮蔽し、かつ優れた低放射化特性を有し、耐熱性及びフッ化水素酸以外の酸に対する耐酸性に優れた組成物の放射線遮蔽材に関するものである。

【背景技術】**【0002】**

従来、放射線遮蔽材としては、放射線遮蔽効果を持つ素材を配合した合成樹脂、ゴム、コンクリート、セラミックス、ガラス、金属等が周知となっている。

原子炉や照射済み核燃料等の放射線源から放出される放射線にはガンマ線と（高エネルギーから熱エネルギーまでの）中性子が混在しており、これらの放射線を全て効果的に遮蔽することが必要である（特許文献 1 を参照）。

30

一般に、中性子遮蔽に対しては、従来水素が最も効果的な元素と考えられて使用されてきたが、中性子エネルギーが高くなると水素の遮蔽効果が減少するという問題がある。

原子炉等から出るエネルギーの高い中性子の遮蔽では、この水素の遮蔽効果が減少するエネルギー領域の中性子を遮蔽することも重要である。

水素の遮蔽効果の減少を補うものとして非弾性散乱により高エネルギー中性子を減速させる効果のある重金属があげられる。

一般的に放射線遮蔽材の重金属として鉛が使用されることが多いが、鉛は有害物質であるため、鉛を多量に含む放射線遮蔽材は、その生産において、鉛を含む原料がこぼれたり、飛散することによって環境汚染を引き起こしやすいという問題を有していた（特許文献 2 を参照）。

40

また、熱中性子等の中性子を吸収した場合には、通常エネルギーが極めて高く透過力の強い二次ガンマ線が発生する。

二次ガンマ線の発生を抑えるには熱中性子吸収材が必要であり、また、その透過を抑えるには比重の大きなジルコニウムやハフニウムのような重金属が必要である。

従来の放射線遮蔽材であるコンクリートに放射線が当たると、コンクリートに含まれている鉄、コバルト、ニッケル、ユウロピウムの元素が放射性同位元素に変化し、この放射性同位元素の放射壊変によって、コンクリートが放射線を発するようになる（特許文献 3 を参照）。

つまり、原子炉等の放射性発生源の稼動を停止しても、コンクリート製の遮蔽体中に放

50

射能が残留し、放射線を発生し続けることになる。

このように放射線を発するに至ったコンクリートは、原子炉等の放射線発生源の保守、運転、解体等に携わる作業員に対して、放射線被ばくによる健康上の悪影響を及ぼす可能性がある。

原子炉施設の廃止措置等に伴う遮蔽材の使用終了時においては、放射化した遮蔽材はその保管や環境汚染の観点から問題が多い。

従って、それらが問題とならない程度の放射能しか発生しない低放射化遮蔽材の開発が望まれている。

【特許文献1】特開2003-255081号公報

【特許文献2】特開2003-315489号公報

【特許文献3】特開2003-238226号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

以上のことから、本発明においては、原子力施設等の中性子及びガンマ線が混在する放射線場において、簡略な設備で作製できかつ実用的に使用出来る遮蔽材としての最高の遮蔽性能、実用的な耐熱性と耐酸性(フッ化水素酸を除く)を有し、軽量で、また低放射化特性を有する放射線遮蔽材を提供することを目的とする。

さらに詳しくは、原子炉施設及び核燃料サイクル施設等、並びに、照射済み燃料、核燃料の再処理物質、放射性同位元素、放射性廃棄物等放射能を有する物質や放射線医療装置から放出される中子とガンマ線とが混在した放射線を中子吸収の結果発生する二次ガンマ線を含めて遮蔽でき、実用的な遮蔽物質の中では最も経済的で尚且つ遮蔽効果が高く、また、使用期間中あるいは使用後における生成放射能を無視できる程度に少なく出来る軽量耐熱耐酸性(フッ化水素酸を除く)の放射線遮蔽材を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明の放射線遮蔽材は、中子遮蔽効果の大きい水素元素含有率の高い多孔質ゼオライト、2、6、8、14、20、28、50、82、126個の中子または陽子を含むイオン交換性元素(但し水素を加えニッケルと鉛は除く)、高エネルギー中子線及びガンマ線に高い遮蔽効果を示す原子番号40以上の重金属と、熱中子吸収材を組み合わせるものである。

本発明においては、前記多孔質ゼオライトが天然又は人工ゼオライトよりなるものである。

本発明においては、前記イオン交換性元素が水素及び2、6、8、14、20、28、50、82、126個の中子または陽子を含む元素(但しニッケルと鉛は除く)である。

本発明においては、前記重金属がジルコニウム又はハフニウムである。

本発明においては、前記熱中子吸収材がリチウム及びホウ素を含む化合物である。

【発明の効果】

【0005】

本発明においては、中子線やアルファ線に安定で中子線(一部ガンマ線)に高い遮蔽効果を示す2、6、8、14、20、28、50、82、126個の中子または陽子を含むイオン交換性元素(但し水素を加えニッケルと鉛は除く)、高エネルギー中子線及びガンマ線に高い遮蔽効果を示す重金属、中子遮蔽効果の大きい水素元素含有率の高いゼオライト、及び熱中子吸収材を組み合わせることにより中子線とガンマ線の両方に対し遮蔽効果を有し、多孔質ゼオライトに対するイオン交換性元素、重金属と熱中子吸収材との配合比率を調整することにより任意に中子遮蔽効率とガンマ線遮蔽効率とをコントロールすることが出来、原子炉のように核分裂線源を扱う施設等において実用的な遮蔽材としては最も高い遮蔽効果を実現出来る放射線遮蔽材を提供出来る。

本発明の放射線遮蔽材は、上述の構成よりなるので、中子とガンマ線双方を考慮した実的な遮蔽材として優れた遮蔽性能を示し、低放射化性、耐熱性及び耐酸性(フッ化水素酸を除く)を有し、非常に軽量である。

10

20

30

40

50

しかも、本発明の放射線遮蔽材は、コバルト、ニッケル、ユウロピウムを含んでおらず、鉄含有量もコンクリートよりも少なく、さらに、ケイ素とアルミニウムを主成分としているため使用期間中及び使用後の廃棄の際に放射化が問題となる可能性は極めて少ない。

本発明によれば、容易な設備で複雑な形状や大型のサイズにも対応した成型体を提供することが出来る。

本発明の放射線遮蔽材は、本質的に鉛を含有しないため、その生産において、鉛を含む原料がこぼれたり、飛散することによって環境汚染を引き起こすことがない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0006】

始めに、従来から知られている放射線遮蔽材の利点と問題点をそれぞれ検討した結果を示す。

10

表1に、コンクリート、水、鉛、グラファイト（黒鉛）、鉄、ホウ素、ポリエチレン、水素化リチウム、水素化チタン／水素化ジルコニウムについて、遮蔽材の利点と問題点を示す。

【0007】

【表1】

一般的な中性子遮蔽材とその問題点

	利点	問題点
コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> ・価格が安価である。 ・整形が容易である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・高温に耐えられない。 ・骨材や添加物で中性子を捕獲するため、二次γ線の発生や放射化の問題が伴う。(特に鉄やコバルト、ユーロピウム等) ・酸性雨等で、放射化したカルシウムが容易に自然界に散逸する。(放射性生体構成元素の散逸。特に⁴⁵Caが問題。)
水	<ul style="list-style-type: none"> ・価格が安価である。 ・整形が容易である。(容器に依存する) ・水素含有率が高いので、中性子に対しては優れた遮蔽材である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・γ線に対しては遮蔽効果が小さい。 ・高温に耐えられない(遮蔽材の温度は400℃に達する) ・容器の腐食に注意が必要。
鉛	<ul style="list-style-type: none"> ・γ線遮蔽は市販されている物質中最良の効果が得られる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・中性子に対して余り減衰能力がなく、捕獲した場合は、7.4MeVの二次γ線を発生させる。 ・融点が327℃のため、高温に耐えられない。(火災等による溶融に留意する必要がある。) ・含まれる不純物が深刻な放射化の問題を引き起こす。 ・人体や生物に有害な元素である。
グラファイト (黒鉛)	<ul style="list-style-type: none"> ・純度の高いものを利用できれば中性子捕獲による二次γ線の発生がほとんどない。 ・高温特性に優れている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・熱中性子には遮蔽効果が小さい。 ・高温で酸素に触れると酸化する。
鉄	<ul style="list-style-type: none"> ・単位厚さあたり中性子に対する減衰能力は高い。 ・構造材として利用できる。(主にコンクリート中の鉄筋として)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・二次γ線の発生が大きい。(最高10MeV、大部分が7.8MeV)。 ・放射化で生成する鋼材中の⁶⁰Coのため、数十年隔離する必要がある。
ホウ素	<ul style="list-style-type: none"> ・熱及び熱外中性子の吸収に優れている。 ・他の素材に添加するのが容易である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・添加物として使う場合、中性子捕獲に伴う発熱に対して注意しなければならない。 ・0.5MeVの二次γ線が問題になる場合もある。
ポリエチレン (CH ₂) _n	<ul style="list-style-type: none"> ・水よりも水素数が多い(8×10²²水素原子数/cm³)ため、中性子捕獲に優れている。 ・放射化がほとんどない。 ・ホウ酸塩を加えて熱中性子吸収性能を向上させられる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・110℃で酸化するため高温に耐えられない。(200℃まで安定なものもある。) ・熱膨張係数が大きく、熱伝導率が非常に小さい。
水素化リチウム	<ul style="list-style-type: none"> ・水素含有率が高く(12.6wt. %)、中性子遮蔽に対しては最良の効果が得られる。 ・融点が高い(683.5℃) ・二次ガンマ線を出さない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・全ての温度で表面の保護が必要。 ・製造困難(製造コストが大きい)。
水素化チタン 水素化 ジルコニウム	<ul style="list-style-type: none"> ・水素含有量が高く中性子遮蔽に優れている。 ・水素化リチウムと異なり表面保護が不要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・高温で水素が離脱する。

【0008】

この結果、一般に放射線遮蔽材として求められる特性は、1. できるだけ二次ガンマ線を発生させないこと、2. 放射化しにくい元素で出来ていること、3. 放射化した場合でも、出来るだけ半減期が短い、極端に長い元素であること、4. 出来るだけ放射性生体構成元素を生成しないこと、5. 人体(生物)に有害な元素を使用しないこと、6. 遮蔽材が放射線遮蔽で発生する高熱に耐えられること、7. 再利用や副生成物の回収が容易であること、8. 中性子による放射化で問題となるコバルト、ユーロピウムを含まないこと、である。

次に、山形県の米沢市板谷から採取した天然ゼオライトを構成する主要元素及び微量元素は、Li、B、Na、Mg、Al、Si、K、Ca、Sc、Ti、V、Mn、Fe、Zn、Sr、Y、Zr、Baの18元素である。

【 0 0 0 9 】

そこで、前記ゼオライトを放射線遮蔽材として利用する。

前記ゼオライトの特性は、1．資源として大変豊富である、2．ケイ素、アルミニウム等の放射化されにくい元素で構成されている、3．水素、リチウム、ホウ素等の中性子遮蔽効果のある元素を含んでいる、4．熱に強い、5．放射線損傷を受けても、結晶のため自己修復できる可能性がある、6．多孔体なので必要な元素の添加などの操作（機能改良）が容易である、7．人体（生物）に有害な元素が少ない、8．中性子による放射化で問題となるコバルト、ユウロピウムを含まない、9．フッ化水素酸以外の酸に対する耐酸性に優れる、等である。

【 0 0 1 0 】

10

次に、放射線遮蔽材で問題となるのは、コンクリートと同様に放射化であり、ゼオライト自身の放射化の問題について、図1で説明する。

まず、図1の縦軸は、上に行くとも陽子数が増えて原子番号が増し、また下方向に行くと原子番号が減少する、すなわち、ケイ素を例にすると、一つ上はリンであり、下はアルミニウムになる。

横軸は、中性子の数であり、右に行くとも同位体の中性子数が増え、左に行くとも減少する。

次に、 (n, \quad) 反応の場合、中性子が一つ吸収され、 γ 線（中性子二個と陽子二個）を出す反応で、中性子は一つ減り、陽子が二個減り、結果として元の原子から一つ左で二個下の原子に変化する。

20

(n, \quad) 反応の場合は、中性子が一つ吸収され、ガンマ線を出す反応で、元の原子から一つ右の同位体に変化する。

(n, p) 反応の場合は、中性子を一つ吸収し、陽子を一つ出す反応で、右下の原子に変化する。

(\quad, p) 反応の場合は、ガンマ線を吸収して陽子を一つ出す反応で、元の原子の一つ下の原子に変化する、すなわちケイ素の場合はアルミニウムに変化する。

(\quad, n) 反応の場合は、ガンマ線を吸収して中性子を一つ出す反応で、元の原子の左側の同位体に変化する。

【 0 0 1 1 】

図1中のベクトルは、原子が崩壊する過程を意味し、崩壊は中性子二個と陽子二個を放出するので、元の原子の左へ二個、下へ二個の位置にある原子に変化する。

30

崩壊及び電子捕獲は、電子を一つ吸収するので、陽子が一つ中性子に変化し、その結果下へ一つ、右へ一つの場合にある原子に変化する。

崩壊は、逆に電子を一つ放出するので、中性子が一つ減り、陽子が一つ増え、つまり元の原子の左上の原子に変化する。

前記ゼオライトは、中性子に関しては (n, \quad) 、 (n, \quad) 、 (n, p) 反応を考え、 γ 線に関しては (\quad, p) 、 (\quad, n) 反応を考える。

【 0 0 1 2 】

そして、本発明の放射線遮蔽材として、中性子遮蔽能を高いレベルに、また、ガンマ線及び中性子の減衰率を任意に設計出来るように、水素含有率の高いゼオライト、イオン交換性元素、重金属、熱中性子吸収材等の使用を考慮する。

40

水素、リチウム、ホウ素の3元素は、元々ゼオライトに含まれているが、ホウ素はホウ酸水を物理吸着させ、乾燥させることにより、必要量添加できる。

リチウムについてもほぼ同様の方法で添加できる。

熱中性子吸収材としては、低放射化の観点からリチウム、ホウ酸やハフニウムが好ましい。

イオン交換特性を利用し、ナトリウムを取り除くと共にカルシウム等を添加し、中性子減速効果とガンマ線遮蔽効果を付加する。

ガンマ線及び高速中性子遮蔽材としては、例えばジルコニウム、ハフニウム等の原子番号40以上の重金属を使用する。

50

ジルコニウムとハフニウムは、ジルコン溶解液から化学吸着と物理吸着特性を利用してゼオライトに吸着させる。

両元素で高速中性子の減速とガンマ線遮蔽を行う、特にハフニウムはランタノイド収縮を起こしているため、電子密度が大きく、有効に高エネルギーガンマ線遮蔽が行える。

さらに、低エネルギーガンマ線については遮蔽能力が原子番号の4乗に比例するので、これらの両元素は共に有効に作用する。

中性子、(二次ガンマ線を含めた)ガンマ線を同時に効果的に遮蔽するためにはゼオライトに対し重金属と熱中性子吸収素材を適切に配合する必要がある。

実際的には、ゼオライト、重金属、熱中性子吸収素材の割合を変えながら放射線輸送計算を実施し、配合比率に関するデータを求め、決定する必要がある。

10

【実施例1】

【0013】

山形県米沢市板谷から採取したゼオライト(以下、「板谷産ゼオライト」という。)を砕き、径1~3mmに大きさを揃えたペレット状のものを、片面に薄手のベニヤ板を貼った奥行き5cm、縦横80cmの木枠内に入れ、その後、残った一面を同じベニヤ板で封じて実験試料を加工する。

【0014】

前記実験試料を用いて、次の実験を行った。

実験1:線源にカリフォルニウム(^{252}Cf)を用いた中性子遮蔽実験を行った。

図2に示すように、板谷産ゼオライト、普通コンクリートについて、それぞれ3回測定を行った。

20

見掛上、板谷産ゼオライトの中性子遮蔽効果は、普通コンクリートよりも劣るが、見かけ比重が約4分の1のため、コンクリートの比重と同程度に遮蔽材を充填することができれば普通コンクリートの1.3倍の遮蔽性能を持つ。また、イオン交換特性を用いて、ナトリウムをカルシウムと置換することにより、質量の増加に対して飛躍的に中性子減速効果とガンマ線遮蔽効果を付加することが出来る。

【0015】

図3に示すように、図2データの近似曲線で外挿してみると、普通コンクリートの3倍の厚さでコンクリートと同程度の中性子に対する遮蔽効果を得ることができるとわかる。

30

しかしながら、ゼオライト試料一枚当たりの重量は普通コンクリート試料の4分の1である。

【0016】

実験2:線源にカリフォルニウム(^{252}Cf)を用いた二次ガンマ線遮蔽実験を行った。

【0017】

図4に示すように、板谷産ゼオライトについて、それぞれ5回測定を行った。

ガンマ線遮蔽効果は、物質の密度に依存するため、ゼオライトだけではあまり遮蔽効果は期待できない。

しかしながら、ジルコニウム等の重金属を添加すれば十分にかつ容易にその遮蔽性能を改良できる。

40

【0018】

図5に示すように、図4のデータの近似曲線を外挿してみると、ゼオライトだけでガンマ線を遮蔽する場合、2m以上の厚さが必要であることがわかる。しかしながら、多孔質であるため、圧縮することによりコンパクト化が可能であり、尚且つ、同機能のコンクリートよりも軽量である。

【0019】

まとめとして、ゼオライトと普通コンクリートとを対比すると、

(1)ゼオライトは普通コンクリートに比べ同じ質量当たり約1.3倍の中性子遮蔽性能がある。

50

(2)ゼオライトは比重が小さい。ゼオライトをペレット状にしたものが見かけ比重 0.67 以上であるのに対して、普通コンクリートは 2.36 である。

(3)ゼオライトは中性子及びガンマ線による放射化のため問題となる核種の含有量が低い。

(4)ゼオライトは熱に強い。

(5)ゼオライトはフッ化水素酸以外の酸性溶液に強い。

(6)ゼオライトは他の放射線遮蔽材を添加して機能改良することが容易である。

したがって、ゼオライトはコンクリートよりも優れた放射線遮蔽材となり、軽量・耐熱・耐酸性中性子遮蔽材として有効な素材である。

また、多孔質な特性を生かすことで、必要な元素の添加をすれば、さらに優れた放射線遮蔽材となる。

【0020】

本発明の放射線遮蔽材は、合成樹脂と混合し、鋳型に入れることにより自在な形状の成型体を実用的な大きさと作製できる。

それらの成型体を単独でもしくは成型体同士組み合わせて用いたり、放射線遮蔽材の小片を容器に充填して用いたり、また、棒等の各種部材で固定して用いたり、各種ゴム、各種コンクリート、各種金属、各種パテ等の複合材料用マトリックスで固定した形態で用いたりすることで、原子炉や原子炉利用施設、核燃料サイクル施設、使用済み燃料等放射性物質貯蔵・輸送容器、放射性同位元素、核融合炉、加速器等における各種放射線源等から放出される中性子やガンマ線を実用的に遮蔽できる。

本発明の放射線遮蔽材は多孔体であるため、必要に応じて水を吸着添加させ、この水(H₂O)の水素原子によって、高エネルギーを有する放射線(中性子)を効果的に減速させることができる。

本発明の放射線遮蔽材は、中性子線及び/又はガンマ線の遮蔽に用いることができる。

本発明の放射線遮蔽材は、そのまま用いることもでき、小片を容器に充填したものをを用いることもできる。

また、圧力を加えて成型し、ブロックとして使用できる他、合成樹脂等と混合し、任意の形状で用いることもできる。

本発明の放射線遮蔽材の小片を複合材料用マトリックスで固定した複合材料を中性子線及び/又はガンマ線の遮蔽に用いてもよい。

【産業上の利用可能性】

【0021】

本発明の放射線遮蔽材は、医療関連施設に設置される医療用リニアックから発生する二次中性子の遮蔽、放射性廃棄物移送用貯蔵容器(キャスク)の放射線遮蔽材、核融合実験施設周辺の放射線遮蔽、可動型推進用原子炉(船舶及び惑星間有人ロケット等に搭載)の放射線遮蔽材、通常原子力施設及び核燃料サイクル施設の放射線遮蔽材、原子炉火災時の放射線遮蔽材、火災作業用ヘリコプター自体の放射線遮蔽材、住宅の壁面用建材(原子力施設周辺の住宅向け)等に利用可能である。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】ゼオライト自身の放射化を表わすグラフ図である。

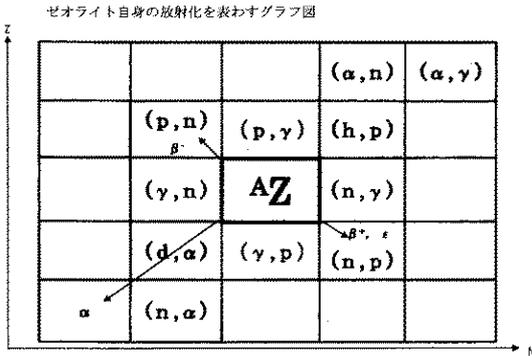
【図2】ゼオライトの中性子線遮蔽効果を示すグラフ図である。

【図3】図2の近似線で外挿したゼオライトの中性子線遮蔽効果を示すグラフ図である。

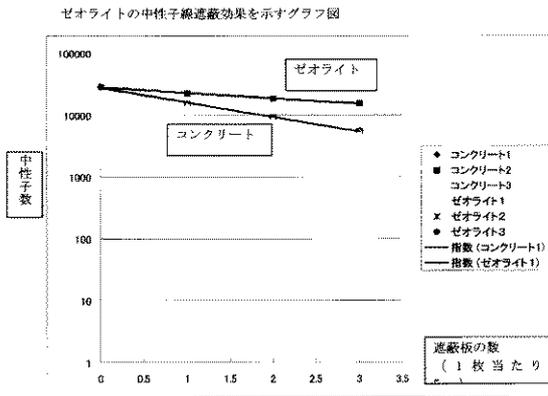
【図4】ゼオライトのガンマ線遮蔽効果を示すグラフ図である。

【図5】図4の近似線で外挿したゼオライトのガンマ線遮蔽効果を示すグラフ図である。

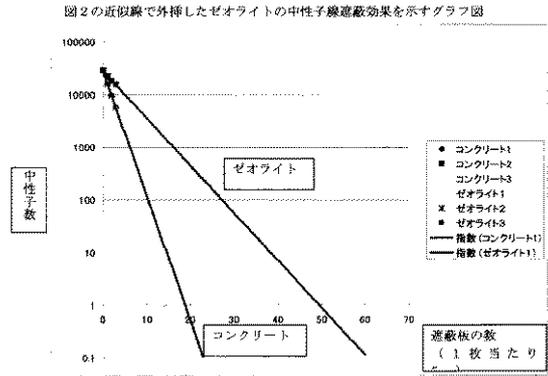
【図1】



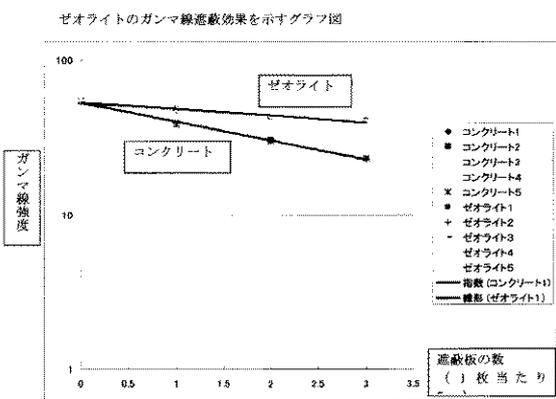
【図2】



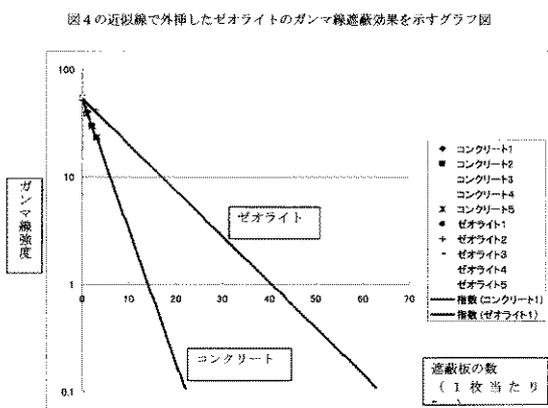
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 村上 英樹

秋田県秋田市手形学園町 1 - 1 国立大学法人秋田大学
属素材資源システム研究施設内

工学資源学部 附

(72)発明者 小田野 直光

東京都三鷹市新川 6 - 3 8 - 1
海上安全研究領域

独立行政法人海上技術安全研究所
原子力安全技術研究グループ

(72)発明者 苅部 隆

山形県米沢市大字板谷 3 1 5 番地

ジークライト株式会社内