

(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2021-148515
(P2021-148515A)

(43) 公開日 令和3年9月27日(2021.9.27)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 2 1 C 5/00 (2006.01)	G 2 1 C 5/00	A
G 2 1 F 9/00 (2006.01)	G 2 1 F 9/00	N
G 2 1 C 1/02 (2006.01)	G 2 1 C 5/00	C
	G 2 1 C 1/02	2 0 0

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2020-46979 (P2020-46979)
(22) 出願日 令和2年3月17日(2020.3.17)

特許法第30条第2項適用申請有り 1. 一般社団法人日本原子力学会2019年春の年会 予稿集(1K13、1K14)、一般社団法人日本原子力学会、発行日:平成31年3月20日 2. 一般社団法人日本原子力学会2019年春の年会、開催日:平成31年3月20日、開催場所:茨城大学水戸キャンパス(茨城県水戸市文京2-1-1)

(出願人による申告) 2019年度、文部科学省、エネルギー対策特別会計委託事業、産業技術力強化法第17条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 592254526
学校法人五島育英会
東京都渋谷区道玄坂1丁目10番7号

(74) 代理人 100165179
弁理士 田▲崎▼ 聡

(74) 代理人 100163496
弁理士 荒 則彦

(74) 代理人 100142424
弁理士 細川 文広

(74) 代理人 100114937
弁理士 松本 裕幸

(72) 発明者 高木 直行
東京都世田谷区玉堤一丁目28番1号 学校法人五島育英会 東京都内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 核変換集合体

(57) 【要約】

【課題】容易に入手できる材料によって構成され、L L F P集合体中で核変換に関与しない中性子がL L F P集合体から漏洩し、隣接燃料棒に出力ピークを生じることが抑制できる核変換集合体を提供する。

【解決手段】本発明の核変換集合体102Aは、核分裂生成物の核変換を行う核変換部105と、核変換部105の周りに配置され、第一中性子 N_1 のうち、核変換に関与していない第二中性子 N_2 を吸収する第二中性子吸収部106と、を備える。第二中性子吸収部106は、核変換集合体102Aに平均2MeVのエネルギーを有する第一中性子 N_1 が照射された際に、第一中性子 N_1 に対する中性子捕獲断面積が10b以下となり、かつ核変換部105で減速され熱中性子エネルギー以下のエネルギーを有する第二中性子 N_2 が照射された際に、第二中性子 N_2 に対する中性子捕獲断面積が 10^3 b以上となる性質を有する物質で構成される。

【選択図】 図2

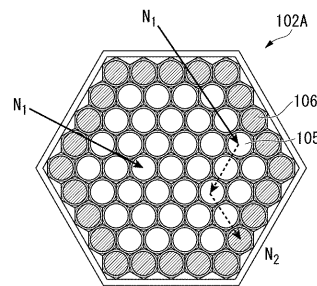


図2

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第一中性子を照射し、核分裂生成物の核変換を行う核変換部と、
前記核変換部の周りに配置され、前記第一中性子のうち、核変換に関与していない第二中性子を吸収する第二中性子吸収部と、を備え、

前記第二中性子吸収部が、平均 2 MeV のエネルギーを有する前記第一中性子が照射された際に、前記第一中性子に対する中性子捕獲断面積が 10 b 以下となり、かつ核変換部で減速され熱中性子エネルギー以下のエネルギーを有する前記第二中性子が照射された際に、前記第二中性子に対する中性子捕獲断面積が 10^3 b 以上となる性質を有することを特徴とする核変換集合体。

10

【請求項 2】

前記第二中性子吸収部が、ガドリニウム、サマリウム、ユーロピウム、カドミウムのうち、少なくとも一つを主成分として含むことを特徴とする請求項 1 に記載の核変換集合体。

【請求項 3】

前記核変換部が、前記核分裂生成物とともに、水素を含む減速材を備えていることを特徴とする請求項 1 または 2 のいずれかに記載の核変換集合体。

【請求項 4】

前記第二中性子吸収部が、前記第二中性子の照射量が多い領域ほど、厚く形成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の核変換集合体。

20

【請求項 5】

前記核変換部が一方向に延在する柱体であり、
前記第二中性子吸収部が、前記核変換部と同じ方向に延在する一本以上の柱体からなることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の核変換集合体。

【請求項 6】

前記核変換部が一方向に延在する柱体であり、
前記第二中性子吸収部が、前記核変換部の周方向に沿って延在する板体である、ことを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の核変換集合体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、長寿命核分裂生成物消滅のための高速炉用核変換集合体に関する。

【背景技術】

【0002】

核分裂炉で発生する核分裂生成物の中には長半減期をもつ核種 (Long-lived Fission Products : LLFP) が存在する。代表的なものとしては、セレン (^{79}Se)、テクネチウム (^{99}Tc)、パラジウム (^{107}Pd)、ヨウ素 (^{129}I)、ジルコニウム (^{93}Zr)、セシウム (^{135}Cs) があり、地層処分に
おいて遠い将来にリスクが顕在化する可能性があるとされている。

【0003】

40

そのため、放射性廃棄物の減容および環境負荷低減対策の一つとして核変換技術が検討されてきた。これらの核変換技術は、LLFP核種を短半減期核種または安定核種へ変換を行うものであり、加速器、原子炉、加速器駆動未臨界炉などの方法が検討されているが、加速器を用いる場合は、LLFP核種の奇数核への分離 (偶奇分離) が必要であり、また、大電流 ($1 \sim 10 \text{ A}$) が必要となる。

【0004】

一方、原子炉を用いる方法では、減速材とLLFP核種を混合、またはそれぞれの別の棒にしてLLFP集合体を構成し、原子炉に装荷して核変換を行う。炉心で発生した高速中性子は、LLFP集合体内の減速材により減速され、LLFP核種に吸収されて核変換が行われるが、減速された一部の中性子は、炉心に漏洩して隣接燃料棒の出力を上昇させ

50

、大きな出力ピークを生じる。このため、従来は、共鳴エネルギー領域から熱エネルギー領域近傍に大きな共鳴吸収断面積を持つ L L F P の 1 核種である T c を用いた T c 棒を L L F P 集合体の最外層に配置することにより、隣接燃料棒の出力ピークを抑制する検討が行われてきた。しかし、T c は L L F P 核種であり天然には存在しないため、使用済み燃料の再処理または医療用放射性物質の廃棄物より抽出・精製する必要があり、このための再処理プロセスまたはそのための施設が別途必要となる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 5 】

【特許文献 1】特開平 8 - 1 9 4 0 8 2 号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、高い核変換率を達成しつつ容易に入手できる物質によって構成され、L L F P 集合体内部で減速された低エネルギー中性子が、集合体外部へ漏洩するのを抑えることが可能な、核変換集合体を提供することを目的とする。

中性子の反応断面積は、高速エネルギー領域よりも共鳴エネルギー領域から熱エネルギー領域にかけて増大することから、核変換を効率的に行うためには、高速中性子を減速する必要がある。このためには、中性子と同じ質量をもつ陽子を核とする水素を用いると、中性子を最も効率よく減速させて、多くの低エネルギー中性子を生成させることができる。

20

一方、減速された中性子の一部は、L L F P 集合体から漏れて隣接燃料棒の核分裂を増大させ、燃料棒出力を増大（出力ピーク）させる。燃料棒出力の増大は、燃料中心温度を上昇させ、燃料溶融に至る可能性があるため避けなければならない。このように高核変換率を得るためには、効率的に多量の減速された中性子を生成しなければならないが、このことは、同時に燃料棒へ漏れる減速された中性子も増加させることになり、燃料棒出力ピークが生じる。このため、高核変換率を達成しつつ、入手容易な物質を用いることにより、減速された中性子が L L F P 集合体から漏れることを抑制できる、L L F P 集合体を提供することが本発明の目的である。

30

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

上記課題を解決するため、本発明は以下の手段を採用している。

【 0 0 0 8 】

(1) 本発明の一態様に係る核変換集合体は、第一中性子を照射し、核分裂生成物の核変換を行う核変換部と、前記核変換部の周りに配置され、前記第一中性子のうち、核変換に関与していない第二中性子を吸収する第二中性子吸収部と、を備え、前記第二中性子吸収部が、平均 2 M e V のエネルギーを有する前記第一中性子が照射された際に、前記第一中性子に対する中性子捕獲断面積が $1 0 \text{ b}$ ($1 \text{ b} = 1 0^{-28} \text{ cm}^2$) 以下となり、かつ核変換部で減速され、熱中性子エネルギー（約 0 . 0 2 5 3 e V ）以下のエネルギーを有する前記第二中性子が照射された際に、前記第二中性子に対する中性子捕獲断面積が $1 0^3 \text{ b}$ 以上となる性質を有する。

40

【 0 0 0 9 】

(2) 上記 (1) に記載の核変換集合体において、前記第二中性子吸収部が、ガドリニウム、サマリウム、ユーロピウム、カドミウムのうち、少なくとも一つを主成分として含むことが好ましい。

【 0 0 1 0 】

(3) 上記 (1) または (2) のいずれかに記載の核変換集合体において、前記核変換部が、前記核分裂生成物とともに、水素を含む減速材を備えていることが好ましい。

【 0 0 1 1 】

50

(4) 上記(1)～(3)のいずれか一つに記載の核変換集合体において、前記第二中性子吸収部が、前記第二中性子の照射量が多い領域ほど、厚く形成されていることが好ましい。

【0012】

(5) 上記(1)～(4)のいずれか一つに記載の核変換集合体において、前記核変換部が一方に延在する柱体であり、前記第二中性子吸収部が、前記核変換部と同じ方向に延在する一本以上の柱体からなってもよい。

【0013】

(6) 上記(1)～(4)のいずれか一つに記載の核変換集合体において、前記核変換部が一方に延在する柱体であり、前記第二中性子吸収部が、前記核変換部の周方向に沿って延在する板体であってもよい。

10

【発明の効果】

【0014】

本発明の核変換集合体では、核変換部の周りに、高エネルギー領域で中性子捕獲断面積が小さく、低エネルギー領域で中性子捕獲断面積が大きい性質を有する第二中性子吸収部が配置されている。そのため、炉心の周囲に設置した場合に、炉心から漏れてくる高速の第一中性子については、第二中性子吸収部で吸収されずに、核変換部に導くことができ、核反応に寄与させることができる。一方、LLFP集合体内部で減速され、集合体外部に漏れ出る低エネルギーの第二中性子については、第二中性子吸収部で高い頻度で吸収される。このような性質を有する第二中性子吸収部の物質は、例えば、地殻中に比較的多く存在するガドリニウムから生成されるガドリニアであり、医療や原子炉の燃料で中性子毒物として使用されている。したがって、本発明の核変換集合体は、容易に入手できる物質によって構成され、核変換に関与せず減速した中性子の漏洩を抑えることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の一実施形態に係る原子炉の断面図である。

【図2】図1の原子炉を構成する一つのLLFP集合体を拡大した図である。

【図3】LLFP核種の中性子捕獲面積のグラフである。

【図4】 ^{155}Gd の核反応断面積のグラフである。

【図5】 ^{157}Gd の核反応断面積のグラフである。

30

【図6】 ^{149}Sm の核反応断面積のグラフである。

【図7】 ^{151}Eu の核反応断面積のグラフである。

【図8】 ^{113}Cd の核反応断面積のグラフである。

【図9】LLFP集合体近傍の構成を拡大した図である。

【図10】実施例7、比較例7に係るLLFP集合体に隣接する、燃料棒のピーク出力のグラフである。

【図11】実施例8～12に係るLLFP集合体に隣接する、燃料棒の出力ピークのグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0016】

40

以下、本発明を適用した実施形態に係る核変換集合体について、図面を用いて詳細に説明する。なお、以下の説明で用いる図面は、特徴をわかりやすくするために、便宜上特徴となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などが実際と同じであるとは限らない。また、以下の説明において例示される材料、寸法等は一例であって、本発明はそれらに限定されるものではなく、その要旨を変更しない範囲で適宜変更して実施することが可能である。

【0017】

図1は、本発明の一実施形態に係る原子炉(LLFP装荷炉)100の断面図である。原子炉100は、主に、炉心101、LLFP集合体102、径ブランケット103、遮蔽体104によって構成されている。炉心101は柱状であり、炉心101の周りを、L

50

LFP集合体102、径ブランケット103、遮蔽体104が、順に被覆するように構成されている。炉心101は、核分裂性物質の富化度の異なるいくつかの領域（2領域の場合は内側炉心および外側炉心と呼ばれる）から構成されており、中性子による核分裂連鎖反応により熱が発生する。核分裂に寄与しない中性子の一部は炉心から漏洩する。径ブランケット103は、燃料の親物質からなり、炉心から漏洩した中性子を捕獲することにより、新たに燃料を生成する。遮蔽体104は、ステンレス鋼からなり、原子炉容器や原子炉容器内の主要な機器に対して、炉心からの中性子線やガンマ線を遮蔽する。

【0018】

図2は、図1の原子炉100を構成する複数のLLFP集合体（核変換集合体）102のうち、一つのLLFP集合体102Aを拡大した図である。LLFP集合体102Aは、主に、核変換部105と、第二中性子吸収部106と、を備えている。

10

【0019】

核変換部105は、半減期が長いセレン（Se）、テクネチウム（Tc）、パラジウム（Pd）、ヨウ素（I）、ジルコニウム（Zr）、セシウム（Cs）等の核分裂生成物（LLFP核種）のうち、少なくとも一つを含む複数本の柱体を束ねた集合体である。炉心101で発生し、平均2MeVのエネルギーを有する高速の中性子（第一中性子） N_1 を、核変換部105に照射することにより、LLFP核種を半減期の短い別の核種または安定核種に変換する。

【0020】

第二中性子吸収部106は、核変換部105の周りに配置される。核変換部105は、一方向に延在する柱体であり、第二中性子吸収部106は、例えば、核変換部105と同じ方向に延在する、一本以上の柱体（棒状部材）からなる。核変換部105の周りに棒状部材が形成する層は、一層であってもよいし、複数層であってもよい。また、棒状部材は層の内部の一部であってもよい。なお、第二中性子吸収部106の形状は、核変換部105の周方向に沿って延在し、柱体核変換部105の外周を連続的に覆う板体（筒体）であってもよい。第二中性子吸収部106の厚みは、その内部での中性子の平均自由行程以上であることが好ましい。また、第二中性子吸収部106は、第二中性子 N_2 の照射量が多い領域ほど、厚く形成されていることが好ましい。

20

【0021】

第二中性子吸収部106は、第一中性子 N_1 が照射された際に、第一中性子 N_1 に対する中性子捕獲断面積が $10b$ 以下となり、かつ熱中性子エネルギー以下のエネルギーを有する第二中性子 N_2 が照射された際に、前記第二中性子の中性子捕獲断面積が 10^3b 以上となる性質を有する。つまり、第二中性子吸収部106は、高エネルギー領域で中性子捕獲断面積が小さく、低エネルギー領域で中性子捕獲断面積が大きい。

30

【0022】

第一中性子 N_1 に対する中性子捕獲断面積を $10b$ 以下とすることにより、炉心101から発生した第一中性子 N_1 は、第二中性子吸収部106では吸収されず、核変換部105に到達することができ、核変換部105内のLLFP核種の核変換を行うことができる。

【0023】

第二中性子 N_2 に対する中性子捕獲断面積を 10^3b 以上とすることにより、核変換部105内で減速された第二中性子（熱中性子） N_2 を吸収することができ、第二中性子 N_2 のLLFP集合体外（炉心101側）への漏洩を抑えることができる。これにより、LLFP集合体に隣接する燃料棒の熱中性子による出力ピークを抑えることができる。

40

【0024】

上記性質を有する第二中性子吸収部106は、例えば、天然のガドリニウム、サマリウム、ユーロピウム、およびカドミウムのうち、少なくとも一つを含む化合物または合金により実現することができる。例えば、それぞれ、 Gd_2O_3 、 Sm_2O_3 、 Eu_2O_3 、 Cd などの化学形態である。図4～8のグラフから、いずれの元素も、低エネルギー領域で中性子捕獲断面積が 10^3b 以上であり、熱中性子の漏洩を抑えられると考えられる。

50

【 0 0 2 5 】

核変換部 1 0 5 には、核分裂生成物とともに、水素を含む減速材を含んでいることが好ましい。減速材を含むことにより、中性子が効率よく減速されるため、L L F P 核種の核変換率を高めることができる。減速材としては、例えば、 $Y H_2$ 等を用いることができる。

【 0 0 2 6 】

以上のように、本実施形態に係る核変換集合体 1 0 2 A では、核変換部 1 0 5 の周りに、高エネルギー領域で中性子捕獲断面積が小さく、低エネルギー領域で中性子捕獲断面積が大きい性質を有する第二中性子吸収部 1 0 6 が配置されている。そのため、原子炉 1 0 0 の炉心 1 0 1 の周囲に設置した場合に、炉心 1 0 1 から直接照射される高速の第一中性子 N_1 については、第二中性子吸収部 1 0 6 で吸収させずに、核変換部 1 0 5 内に導くことができ、核反応に寄与させることができる。一方、核反応に寄与しないで炉心 1 0 1 側に飛び出そうとする第二中性子 N_2 については、第二中性子吸収部 1 0 6 で高い頻度で吸収することができる。このような性質を有する第二中性子吸収部の材料は、ガドリニウム等の安定核種であり、地殻中に比較的多く存在し、医療や原子炉の燃料で中性子毒物として使用されている。したがって、本発明の核変換集合体 1 0 2 A は、容易に入手できる材料によって構成され、核変換に関与せずに減速した中性子が漏洩するのを抑えることができる。

【 0 0 2 7 】

本発明では、中性子吸収物質としてガドリニウムを使用する。商業用軽水炉では熱伝導度の低下を考慮して重量比 1 0 w t % 以下の $G d_2 O_3$ を $U O_2$ 燃料に混在させてガドリニア入り燃料として炉心の余剰反応度を制御するための手段として実用化されている。本発明では、天然 $G d$ を用いた $G d_2 O_3$ を棒として単独で被覆管内に装荷して用いる。原子炉では $M O X$ 燃料中空部に装荷する目的で細径の $G d_2 O_3$ 棒および $(G d , Z r) O y$ 棒が照射試験用に製造された。押出成形法により直径 1 . 2 3 m m ~ 1 . 2 6 m m 、密度は 9 5 . 4 ~ 9 6 . 7 % の $G d_2 O_3$ 棒が作成され、化学成分、寸法、密度、真直度とも設計仕様を十分満足する結果が得られたことが報告されている。(P N C T N 1 3 4 0 9 5 - 0 0 4 , 動燃技法 No . 9 6 1 9 9 5 . 1 2) 。このことから、原子炉に装荷できる高理論密度を持つ $G d_2 O_3$ 棒が十分設計・製造でき、本発明は現実的に具体化され得ると言える。

【 0 0 2 8 】

本発明による L L F P 集合体では、最外周を除く内部に水素を減速材として装荷できるため、高核変換率を達成することができる。これにより、炉心からの漏洩中性子が大きいブランケット第一層にこの L L F P 集合体を装荷することにより、L L F P 廃棄物を大幅に減量することができ、廃棄物の減容と地層処分における潜在的放射能のリスクを減少させることができる。

【 0 0 2 9 】

炉心からの漏洩中性子を利用する L L F P 核種の核変換では、漏洩中性子の多い小型高速増殖炉 (約 7 0 0 M W t) が高い核変換率を与える。この小型高速増殖炉を用いると、I、Pd、SeなどのL L F P核種の核変換に対しては、燃料の増殖をしながら、自分が発生させたL L F P核種を消滅させることができるという革新的な原子炉の設計が可能となる。

【 0 0 3 0 】

また、このクラスの小型高速増殖炉 5 基を核変換に用いると将来投入される大型高速増殖炉 (約 3 5 0 0 M W t) が排出する L L F P 核種 3 基分を消滅させることができる。すなわち、発電をしながら超長寿命核分裂生成物処理する原子力システムが構築されることになり、エネルギー供給と廃棄物処理の軽減および潜在的リスクの低減の両立が可能となり将来への負の遺産を避けることができることから、人類の持続的発展が期待できる。

【 実施例 】

【 0 0 3 1 】

10

20

30

40

50

以下、実施例により、本発明の効果をより明らかなものとする。なお、本発明は、以下の実施例に限定されるものではなく、その要旨を変更しない範囲で適宜変更して実施することができる。

【0032】

図9は、LLFP集合体装荷部102の近傍を拡大した図である。一つ一つのLLFP集合体102Aの中には、LLFP核種と減速材を含む複数のLLFP棒102Bが配置されている。LLFP集合体102Aの内側（炉心中心側）は、複数の燃料集合体101Aで構成されており、一つ一つの燃料集合体101Aの中に、プルトニウムを含有する複数の燃料棒101Bが配置されている。LLFP集合体102Aの外側は、複数のブランケット集合体103Aで構成されており、一つ一つのブランケット集合体103Aの中に、劣化ウランまたは天然ウランペレットを含有する複数のブランケット棒103Bが配置されている。

10

【0033】

（実施例1）

LLFP集合体102Aに隣接する燃料棒101Bは、減速された中性子の一部がLLFP集合体から漏れて核分裂を増大させるため出力が高くなる。特に、LLFP集合体102Aに2面で接する燃料棒101C（燃料集合体101Aのコーナーに位置する燃料棒101C）に、高い出力ピークが現れる。隣接燃料集合体の燃料棒101Bの平均出力を1.0と規格化した場合の燃料棒出力ピークは、2.44という高い値を示す。この出力ピークを抑制するためには、LLFP集合体102Aからの熱中性子の漏洩を遮断することが必要である。そのため、LLFP集合体102Aの最外周のピンに熱中性子を吸収する物質を全周またはその一部分に装荷する。この場合、炉心からの高速中性子がLLFP集合体102Aの核変換部102Bに入射することを妨げず、且つLLFP集合体102Aで生成された熱中性子が燃料集合体側への漏洩することを遮断するような物質でなければならない。このような物質が、ガドリニウム、サマリウム、ユーロピウムやカドミウムの様な元素を含む物質である。

20

【0034】

（実施例2）

上記実施形態のLLFP集合体の第二中性子吸収部106を核変換部105に変更した構成で、図1に示す円筒体系で原子炉内の中性子挙動シミュレーションを行い、隣接する燃料棒の出力ピークの評価を行った。核変換部は図1のLLFP集合体装荷部102と径ブランケット103が2層の三層構造とし、いずれの層においても、減速材として機能するYH₂の体積割合を90%とした。また、約90（cm）離れた位置から、LLFP集合体が配置されているとした。

30

【0035】

図1のLLFP集合体装荷部102に装荷されたLLFP集合体を径ブランケット集合体103Aに変更した構成でも、隣接する燃料棒の出力についてシミュレーションを行った。

【0036】

図10は、それぞれの場合のシミュレーション結果を示すグラフである。グラフの横軸は炉心中心からの距離を示しており、グラフの縦軸は燃料集合体内で規格化（燃料棒平均出力を1.0に規格化）された燃料棒の出力を示している。

40

前者シミュレーション結果においては、LLFP集合体の近傍領域において、2.74という大きな出力ピークが発生している。この結果から、核変換部で減速した熱中性子が、隣接する燃料棒に漏洩し、その出力を局所的に上昇させていることが分かる。

これに対し、径ブランケットが装荷された後者のシミュレーション結果では、出力が滑らかに低下しており、前者シミュレーション結果で発生したような出力ピークは見られない。

【0037】

（実施例3）

50

第二中性子吸収部 106 に含まれる Gd_2O_3 の体積割合と、LLFP 集合体に隣接する燃料棒で発生する出力ピークの照射時間依存性を調べた。図 11 は、その結果を示すグラフである。グラフの横軸は中性子の照射時間を示し、グラフの縦軸は隣接燃料棒の出力ピークを示している。いずれの場合においても中性子の照射により強吸収体である ^{155}Gd および ^{157}Gd が減少するため、照射時間に比例して出力ピークが高くなる傾向が見られる。ただし、 Gd_2O_3 の体積割合が大きいほど、立ち上がりが緩やかであり、長期間、出力ピークを低く抑えられることが分かる。一方、 Gd_2O_3 の体積割合が小さくても、照射時間が短ければ出力ピークを低く抑えられることが分かる。これらの結果から、目標とする照射時間および許容線出力に合わせて、適切な Gd_2O_3 の体積割合を選択できることが分かる。例えば、許容出力ピークが 1.6 の場合、1200 日照射するためには Gd_2O_3 の体積割合は 100% でなければならない。

10

【符号の説明】

【0038】

- 100・・・原子炉
- 101・・・炉心
- 101A・・・燃料集合体
- 101B・・・燃料棒
- 102・・・LLFP 集合体（装荷部）
- 102A・・・LLFP 集合体
- 102B・・・LLFP 棒
- 103・・・径ブランケット
- 103A・・・ブランケット集合体
- 103B・・・ブランケット棒
- 104・・・遮蔽体
- 105・・・核変換部
- 106・・・第二中性子吸収部
- N_1 ・・・第一中性子
- N_2 ・・・第二中性子

20

【 図 1 】

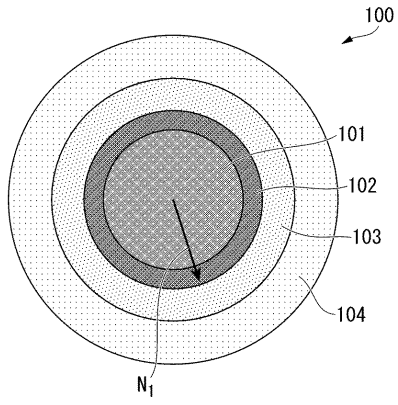


図1

【 図 3 】

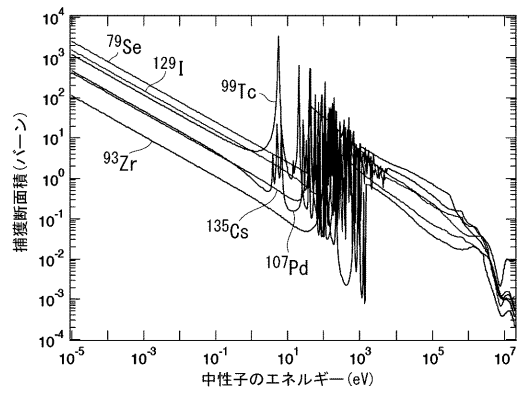


図3

【 図 2 】

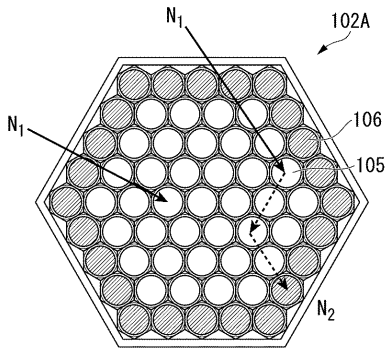


図2

【 図 4 】

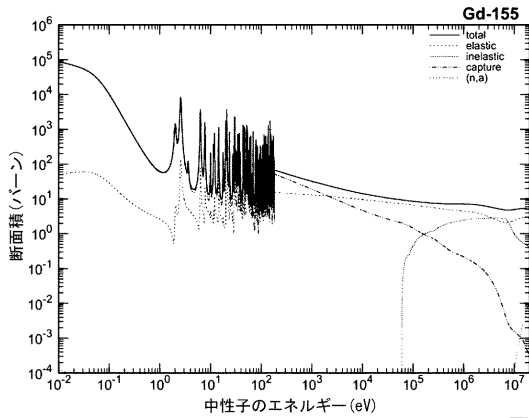


図4

【 図 5 】

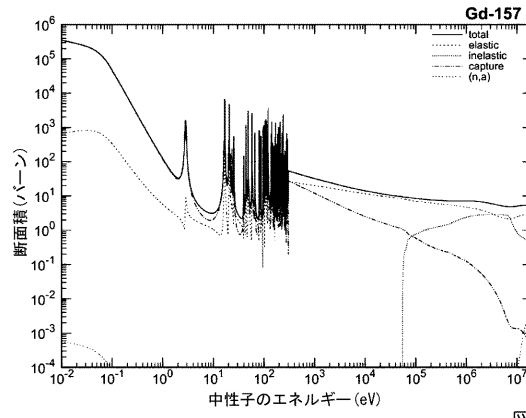


図5

【 図 6 】

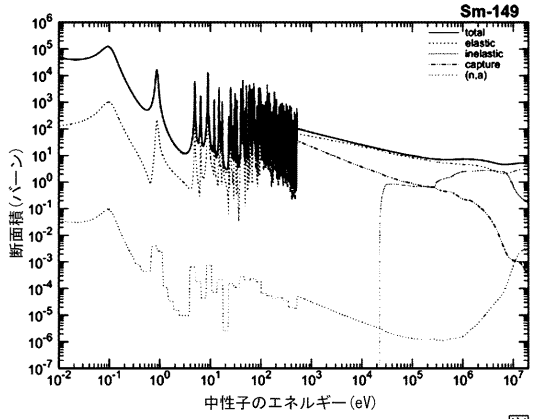


図6

【 図 7 】

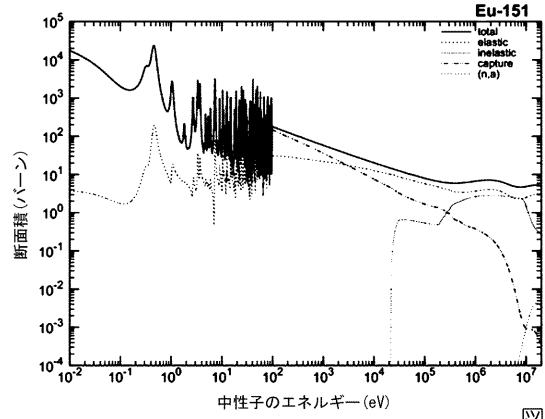


図7

【 図 8 】

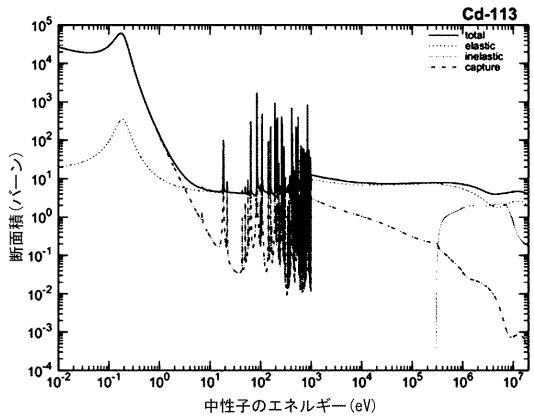


図8

【 図 9 】

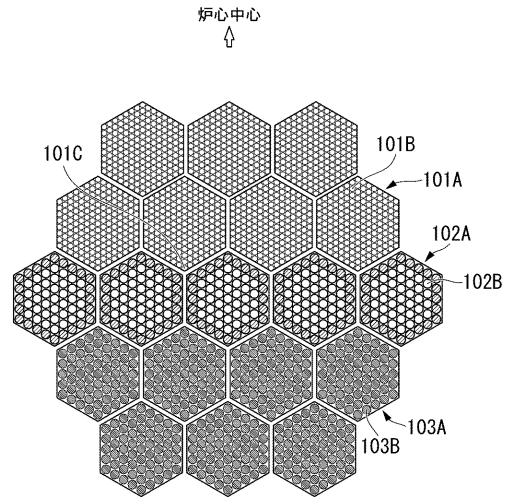


図9

【図10】

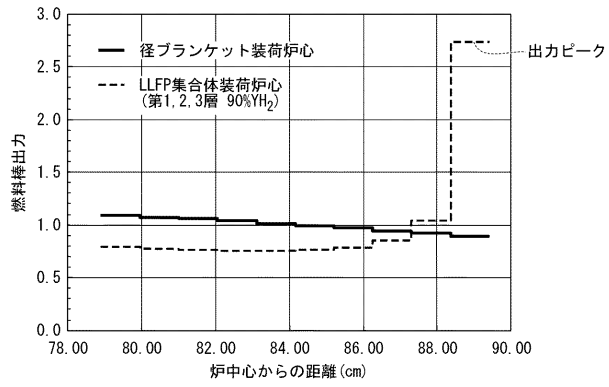


図10

【図11】

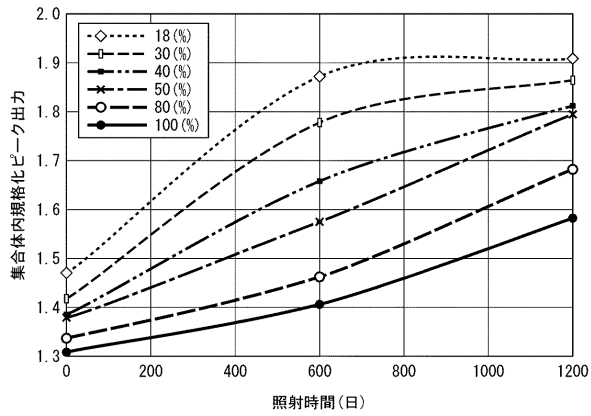


図11

フロントページの続き

(72)発明者 田原 義壽

東京都世田谷区玉堤一丁目2番1号 学校法人五島育英会東京都市大学内

(72)発明者 リン ペン ホン

東京都世田谷区玉堤一丁目2番1号 学校法人五島育英会東京都市大学内

(72)発明者 板谷 樹

東京都世田谷区玉堤一丁目2番1号 学校法人五島育英会東京都市大学内