

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

原子炉の炉心外側に配置され、炉心から漏れ出る中性子を吸収する中性子遮蔽体において、

粉末状の中性子吸収材を収容し、上下方向に積層される複数の収容体と、

前記収容体を格納する被覆管と、

を備えることを特徴とする中性子遮蔽体。

【請求項 2】

前記収容体は、その内部上方に空間を残して前記粉末状の中性子吸収材を収容することを特徴とする請求項 1 に記載の中性子遮蔽体。

10

【請求項 3】

前記収容体が被覆管に格納された状態で、その収容体と被覆管の合せ面に隙間が形成されることを特徴とする請求項 1 に記載の中性子遮蔽体。

【請求項 4】

前記収容体は、中性子吸収材の充填領域を密閉しないように構成されることを特徴とする請求項 1 に記載の中性子遮蔽体。

【請求項 5】

前記被覆管の内部上方設けられ、中性子吸収材の中性子吸収反応により生じて収容体の外側に漏れ出た気体が案内される上部室と、その上部室に設けられ、最上層の収容体を収容体の積層方向に押圧することにより各収容体を支持すると共に収容体の熱膨張或いはスウェリングその他の要因に基づく変形を許容する支持機構と、を備えることを特徴とする請求項 4 に記載の中性子遮蔽体。

20

【請求項 6】

前記収容体は、中性子吸収材を収納するシュラウド管と、シュラウド管の上部開口を塞ぐ蓋板と、シュラウド管の下部開口を塞ぐ底板と、を有し、

前記収容体の蓋板は、部分的に、その収容体に収容される中性子吸収材に埋没する陥没部を有して形成され、

前記収容体の底板は、前記蓋板の陥没部に吻合するように形成されることを特徴とする請求項 2 に記載の中性子遮蔽体。

【請求項 7】

30

請求項 1 乃至請求項 6 の何れか 1 項に記載の中性子遮蔽体を備えたことを特徴とする原子炉。

【請求項 8】

B₄C の粉末を用いた中性子遮蔽体を、原子炉の炉心外側に配置することにより、原子炉の炉心から漏れ出る中性子を吸収することを特徴とする中性子遮蔽方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、中性子の遮蔽技術に係り、特に、原子炉の炉心外側で炉心から漏れ出る中性子を吸収する中性子遮蔽体および原子炉ならびに中性子遮蔽方法に関する。

40

【背景技術】**【0002】**

従来、B₄C などの中性子吸収材の粉末を、制御棒の用途に用いる技術が提案されている（たとえば、特許文献 1 参照）。しかしながら、原子炉の炉心外側に配置されて炉心から漏れ出る中性子を吸収する中性子遮蔽体としては、B₄C などの中性子吸収材を焼成したペレットが用いられ、その中性子遮蔽体に粉末状の中性子吸収材が用いられた事例は現在に至っても見聞しない。

【特許文献 1】特開平 10 - 39072 号公報**【発明の開示】****【発明が解決しようとする課題】**

50

【 0 0 0 3 】

原子炉の炉心外側に配置される中性子遮蔽体は、原子炉の炉心周囲を覆うように稠密設置され、高いエネルギーの高速中性子から原子炉容器を保護する機能を果たす。しかしながら、制御棒とは事情を異にし、炉内構造物の位置付けであって一定期間は補修或いは交換が行われず長期健全性が要求される。

【 0 0 0 4 】

しかし、中性子吸収材としてペレット状のものをを用いると、中性子照射によるペレットの熱膨張やスウェリングに起因して中性子遮蔽体の構造劣化が進行し、補修或いは交換の時期まで中性子遮蔽体の健全性維持が難しいという問題があった。たとえば、ペレットの熱膨張やスウェリングによってペレットが破砕し、中性子遮蔽体その他炉内構造物の損傷を引き起こす可能性がある。加えて、中性子吸収材をペレット状にする場合は、中性子吸収材の焼成工程を必要とし、製造費が高くなるという点も無視できない。

10

【 0 0 0 5 】

本発明は上記事情に鑑みてなされたもので、原子炉の炉心外側に配置される中性子遮蔽体を対象として、中性子吸収材の構造健全性に優れた中性子遮蔽体、原子炉および中性子吸収方法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】

【 0 0 0 6 】

上述した目的を達成するため、本発明に係る中性子遮蔽体では、原子炉の炉心外側に配置され、炉心から漏れ出る中性子を吸収する中性子遮蔽体において、粉末状の中性子吸収材を収容し、上下方向に積層される複数の収容体と、前記収容体を格納する被覆管と、を備えることを特徴とする。

20

【 0 0 0 7 】

また、本発明に係る原子炉では、上記中性子遮蔽体を備えることを特徴とする。

【 0 0 0 8 】

また、本発明に係る中性子遮蔽方法では、 B_4C の粉末を用いた中性子遮蔽体を、原子炉の炉心外側に配置することにより、原子炉の炉心から漏れ出る中性子を吸収することを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 0 9 】

本発明によれば、原子炉の炉心外側に配置される中性子遮蔽体を対象として、中性子吸収材の構造健全性に優れる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 0 】

本発明に係る中性子遮蔽体、原子炉ならびに中性子遮蔽方法の実施形態を、添付図面を参照して説明する。

【 0 0 1 1 】

[第1実施形態]

図1は本発明に係る中性子遮蔽体の第1実施形態を示す図である。

【 0 0 1 2 】

本実施形態の中性子遮蔽体は、原子炉20に設けられる。原子炉20は、核分裂に伴って発生する高速中性子を減速せずに利用する高速炉である。高速炉は、核燃料の交換なしに10数年から数十年、例えば30年程度連続して運転することができる原子炉であり、炉出力が30MW～百数十MW（電気出力で1万KW～10数万KW）である。冷却材には液体ナトリウムが用いられ、冷却材の温度は、液体ナトリウムが凝固しない温度以上であり、温度的余裕をもたせて原子炉容器内の冷却材流路にて300°～400°、炉心側で500°～550°程度が用いられる。

40

【 0 0 1 3 】

原子炉20は、有底円筒状の原子炉容器21が台座22に支持されたガードベッセル23で覆われ保護される。原子炉容器21の頂部は上部プラグを構成する遮蔽プラグ24で

50

閉塞される。

【 0 0 1 4 】

原子炉容器 2 1 内に炉心 2 5 が収容される一方、原子炉容器 2 1 内は一次冷却材 2 6 と
しての液体ナトリウムで満たされている。炉心 2 5 は核燃料の燃料集合体 2 7 が装荷され
て、全体として円柱形状に構成される。炉心 2 5 は、その外側が炉心槽 2 8 で取り囲まれ
て保護される。

【 0 0 1 5 】

炉心槽 2 8 の外側には間隔をおいて円筒形状の隔壁 2 9 が設けられ、この隔壁 2 9 は炉
心支持板 3 0 上に、炉心 2 5 および炉心槽 2 8 とともに支持される。炉心支持板 3 0 は原
子炉容器 2 1 の円周壁下部に設けられた炉心支持台 3 1 上に支持される。炉心 2 5 は下部
にエントランスモジュール 3 3 が設けられる一方、炉心 2 5 に装荷される燃料集合体 2 7
の上部は上部支持板 3 4 で支持される。

10

【 0 0 1 6 】

また、炉心槽 2 8 と隔壁 2 9 との間には、全体としてスリーブ状（円筒状あるいは円環
状）の反射体 3 5 が構成される。反射体 3 5 は、駆動軸 3 6 を介して反射体駆動装置 3 7
に連結される。反射体駆動装置 3 7 は遮蔽プラグ 2 4 を構成する上部プラグ上に設置され
、反射体駆動装置 3 7 の駆動により、炉心 2 5 の周囲を上下方向に移動し、炉心 2 5 の反
応度を制御している。

【 0 0 1 7 】

さらに、炉心 2 5 の中心部には炉停止棒 3 8 が炉停止棒駆動装置 3 9 の駆動により炉心
2 5 に出し入れ自在に設けられる。この炉停止棒駆動装置 3 9 も反射体駆動装置 3 7 とと
もに上部プラグ上に設置される。これらの反射体駆動装置 3 7 および炉停止棒駆動装置 3
9 は、格納ドーム 4 0 内に格納され、保護される。

20

【 0 0 1 8 】

一方、隔壁 2 9 の外側は、原子炉容器 2 1 との間に一次冷却材 2 6 の流路を形成してお
り、この流路に中性子遮蔽体 7 が配置される。中性子遮蔽体 7 は、炉心支持板 3 0 上に設
置され、中性子遮蔽体 7 の上部は上部支持板 3 4 に支持される。中性子遮蔽体 7 は、炉心
2 5 から反射体 3 5 を透過または迂回して放射する中性子を遮蔽している。なお、中性子
遮蔽体 7 は、炉心支持板 3 0 と上部支持板 3 4 とで水平方向のみが支持され、上下方向に
は支持されずに熱膨張に対し自由に摺動できるよう設けられる。

30

【 0 0 1 9 】

原子炉容器 2 1 内においては、中性子遮蔽体 7 の上方に円環形状の電磁ポンプ 4 5 が配
置され、この電磁ポンプ 4 5 の上方に中間熱交換器 4 6 が設置される。これらの電磁ポン
プ 4 5 と中間熱交換器 4 6 は、例えば一体あるいは一体的に構成される。電磁ポンプ 4 5
は、原子炉容器 2 1 内の一次冷却材 2 6 を、実線矢印の如く循環して、冷却材流路内にお
いて上方から下方へ向って流動させる。また、中間熱交換器 4 6 のチューブ側とシェル側
に、それぞれ一次冷却材 2 6 と二次冷却材が熱交換可能に案内される。二次冷却材は入口
ノズル 4 7 から流入して中間熱交換器 4 6 に至り、この中間熱交換器 4 6 で一次冷却材 2
6 と熱交換して温度上昇した後、出口ノズル 4 8 から原子炉容器 2 1 外の図示しない蒸気
発生器に送られるようになっている。二次冷却材も一次冷却材と同様に液体ナトリウムで
構成される。

40

【 0 0 2 0 】

図 2 は中性子遮蔽体 7 の要部拡大図（断面図）である。図 3 は中性子遮蔽体 7 に設けら
れる収容体 7 2 の支持機構を示す図（断面図）である。なお、図 3 における 7 7 は被覆管
7 4 の上部端栓であり、上部支持板 3 4 に設けられた孔（不図示）に挿入される。

【 0 0 2 1 】

中性子遮蔽体 7 は、図 2 および図 3 に示すように、原子炉の炉心外側に配置され、炉心
から漏れ出る高速の中性子を吸収するために設けられる。この中性子遮蔽体 7 は、中性子
吸収材 7 1、収容体 7 2、空間 7 3、被覆管 7 4、隙間 7 5 および支持機構 7 6 を有する

。

50

【 0 0 2 2 】

中性子吸収材 7 1 は、 B_4C （炭化ホウ素）の粉末体により構成され、収容体 7 2 に振動充填される。

【 0 0 2 3 】

収容体 7 2 は複数設けられており、各収容体 7 2 は B_4C の粉末体を収容する。この収容体 7 2 は、シュラウド管 721、蓋板 722、底板 723 および接合部 724 を有して構成される。各収容体 7 2 は、一側の収容体 7 2 の蓋板 722 が他側の収容体 7 2 A の底板 723 と当接されて収容体の積層構造を成している。なお、収容体 7 2 の蓋板 722 と底板 723 は、共に平面状に形成される。

【 0 0 2 4 】

収容体 7 2 のシュラウド管 721 は、オーステナイト系ステンレス鋼製であり、肉厚は約 0.2 mm、軸方向長さは 1 つのシュラウド管 721 当たり約 1 m である。

【 0 0 2 5 】

収容体 7 2 の蓋板 722 と底板 723 は、シュラウド管 721 の上部開口と下部開口を塞ぐように、接合部 724 の所でシュラウド管 721 と接合される。接合の方法は、スポット溶接などの抵抗溶接や熱影響と熱変形の少ないレーザ溶接などが用いられる。この接合部 724 には、収容体 7 2 が密閉構造にならないように隙間（不図示）が設けられる。

【 0 0 2 6 】

空間 7 3 は、仕切り構造を用いることなく、収容体 7 2 の内部に中性子吸収材 7 1 が完全充填されないことで形成される。

【 0 0 2 7 】

被覆管 7 4 は、直径約 200 mm、全長約 8 m に寸法設定され、収容体 7 2 を格納する。そして、収容体 7 2 が被覆管 7 4 に格納された状態で、その収容体 7 2 と被覆管 7 4 の合せ面に約 0.5 mm の隙間 7 5 が設けられる。この被覆管 7 4 は、中性子照射によるスウェリング現象を抑えるため、冷間加工されたオーステナイト系ステンレス鋼または HT-9 により構成される。そして、図 3 に示すように、被覆管 7 4 の上部には上部室 741 が設けられ、その上部室 741 には収容体 7 2 の支持機構 7 6 が設けられる。

【 0 0 2 8 】

支持機構 7 6 は、図 3 に示すように、最上層の収容体 7 2 の蓋板 722 を下方向に押圧して収容体 7 2 の積層構造を支持すると共に収容体 7 2 の熱膨張或いはスウェリングその他の要因に基づく収容体 7 2 の変形に伴って上方への変位が許容されるよう構成される。この支持機構 7 6 は、被覆管 7 4 の上部端栓 7 7 に取り付けられたベース 761、このベース 761 に締結具 762 により取り付けられた案内棒 763、収容体 7 2 の蓋板 722 に圧接されるガイド 764 およびスプリング 765 により構成される。

【 0 0 2 9 】

次に、中性子遮蔽体 7 の効果を説明する。

【 0 0 3 0 】

中性子遮蔽体 7 にあっては、

(1) 粉末状の中性子吸収材 7 1（たとえば、 B_4C ）を収容し、上下方向に積層される複数の収容体 7 2 と、この収容体 7 2 を格納する被覆管 7 4 と、を備える。このため、収容体 7 2 の内部において、たとえば $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ 反応により発生したヘリウムガスを粉末充填領域の微細隙間に収容可能となる。そして、複数の独立した収容体 7 2 を積層した構成であるため、収容体 7 2 の力学的安定性に優れる。したがって、原子炉の炉心外側に配置される中性子遮蔽体を対象として、中性子吸収材の構造健全性に優れる。

【 0 0 3 1 】

ところで、収容体 7 2 における中性子吸収材 7 1 の充填密度は、設計仕様に基づく所定値に設定される。このため、中性子遮蔽体 7 を被覆管 7 4 と同程度の長さの収容体 7 2 に中性子吸収材 7 1 を振動充填して製造する場合、高さ方向に均一な充填密度を達成するにあたって極めて長い時間を要する。また、中性子遮蔽体 7 は、原子炉 20 の運転寿命中に補修・交換を予定しない長期使用されることが予定されるため、長期間の使用後に核反応

10

20

30

40

50

生成物による比重バランスの崩れや重力作用によって充填密度が変化しうる。原子炉 20 の中性子遮蔽体 7 にあっては、独立した複数の収容体 7 2 に中性子吸収材 7 1 が収容され、各収容体 7 2 が積層された構造を有する。このため、収容体 7 2 の内部における中性子吸収材 7 1 の不均一化を良好に防止できる中性子遮蔽体 7 の製造が容易となる。また、高さ方向の充填密度を変化させる中性子吸収対 7 の製造も容易となる。

【0032】

加えて、ペレット状の中性子吸収材 7 1 と異なり、中性子吸収材の製造にあたって焼成工程が不要となり、製造費の低減が図られる。

【0033】

(2) 収容体 7 2 は、その内部上方に空間 7 3 を残して粉末状の中性子吸収材 7 1 を収容する。このため、中性子照射による中性子吸収材 7 1 の放熱およびスウェリングにより生じる収容体 7 2 の膨張収縮変形が吸収され、(1)の効果が高められる。

10

【0034】

(3) 収容体 7 2 が被覆管 7 4 に格納された状態で、その収容体 7 2 と被覆管 7 4 の合せ面に、たとえば 0.5 mm 程度の隙間 7 5 が形成される。このため、収容体 7 2 に膨張収縮変形が生じて被覆管 7 4 に荷重が作用しにくいものとなり、(1)の効果が高められる。

【0035】

(4) 収容体 7 2 は、中性子吸収材 7 1 の充填領域を密閉しないように構成される。このため、収容体 7 2 の内部において $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 反応により発生したヘリウムガスがシュラウド管 721 の外部へ逃がれることとなり、収容体 7 2 の内圧上昇が緩和される。その結果、(1)の効果が高められる。

20

【0036】

(5) 被覆管 7 4 の内部上方設けられ、 $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 反応により発生して収容体 7 2 の外側に漏れ出たヘリウムガスなどが案内される上部室 741 と、その上部室 741 に設けられ、最上層の収容体 7 2 を収容体の積層方向に押圧することにより各収容体 7 2 を支持すると共に収容体 7 2 の熱膨張或いはスウェリングその他の要因に基づく変形を許容する支持機構 7 6 と、を備える。すなわち、収容体 7 2 の振動を防止する支持機構 7 6 の設置スペースたる上部室 741 を利用して、接合部 724 を通り収容部 7 2 の内側から外側へと逃れたヘリウムガスを案内し貯留できる。したがって、上部室 741 の容量を適宜設定することにより、ヘリウムガスなどの閉じ込め作用を維持しつつ被覆管 7 4 の内圧上昇を緩和できる。

30

【0037】

[第2実施形態]

図 4 は本発明に係る中性子遮蔽体の第 2 実施形態を示す図である。第 2 実施形態は、第 1 実施形態の収容体 7 2 における蓋板 722 および底板 723 の構成を変更した例である。なお、第 1 実施形態と同様の構成は同一符号を付して説明を省略し、第 1 実施形態の構成を変更し或いは新たに追加した構成は符号末尾に「A」を付して説明する。

【0038】

中性子遮蔽体 7 A は、図 4 に示すように、収容体 7 2 A を有する。そして、この収容体 7 2 A は、蓋板 722 A および底板 723 A を有する。

40

【0039】

収容体 7 2 A の蓋板 722 A は、部分的に、その収容体 7 2 A に収容される中性子吸収材 7 1 に埋没する陥没部を有し、断面において下向きの凸状に形状設定される。一方、収容体 7 2 A の底板 723 A は、蓋板 722 A の陥没部に吻合するように、断面において下向きの凸状に形状設定される。

【0040】

次に、中性子遮蔽体 7 A の効果を説明する。

【0041】

中性子遮蔽体 7 A にあっては、第 1 実施形態の(1)～(5)の効果に加え、下記の効果を得

50

ることができる。

【 0 0 4 2 】

(6) 炉心 2 5 (図 1 参照) で発生して中性子遮蔽体 7 A に向かう中性子うち収容体 7 2 A の空間 7 3 を通過する中性子数が低減し、第 1 実施形態の(2)の効果を得るにあたって中性子吸収効果の低下防止が図られる。

【 0 0 4 3 】

[第 3 実施形態]

図 5 は本発明に係る中性子遮蔽体の第 3 実施形態を示す図である。第 3 実施形態は、第 1 実施形態の収容体 7 2 における蓋板 722 および底板 723 の構成を変更した例である。なお、第 1 実施形態と同様の構成は同一符号を付して説明を省略し、第 1 実施形態の構成を変更し或いは新たに追加した構成は符号末尾に「 B 」を付して説明する。

【 0 0 4 4 】

中性子遮蔽体 7 B は、図 4 に示すように、収容体 7 2 B を有する。そして、この収容体 7 2 B は、蓋板 722 B および底板 723 B を有する。

【 0 0 4 5 】

収容体 7 2 B の蓋板 722 B は、部分的に、その収容体 7 2 B に收容される中性子吸収材 7 1 に埋没する陥没部を有し、断面において下向きに凸の V 字状に形状設定される。一方、収容体 7 2 B の底板 723 B は、蓋板 722 B の陥没部に勘合するように、断面において下向きに凸の V 字状に形状設定される。

【 0 0 4 6 】

次に、中性子遮蔽体 7 B の効果を説明する。

【 0 0 4 7 】

中性子遮蔽体 7 B にあっては、第 1 実施形態の(1)～(5)の効果および第 2 実施形態の(6)の効果に加え、下記の効果を得ることができる。

【 0 0 4 8 】

(7) 収容体 7 2 B の蓋板 722 B における V 字部の成形にあたって、溶接手段が不要であると共に機械的加工の必要量も少ないため、製造性に優れる。

【 0 0 4 9 】

以上、本発明に係る中性子遮蔽体、原子炉および中性子吸収方法を第 1 実施形態～第 3 実施形態に基づき説明してきたが、具体的な構成については、これらの実施形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない限り設計の変更や追加等は許容される。

【 0 0 5 0 】

たとえば、第 1 実施形態において、中性子吸収材として B₄C の粉末を用いる例を示したが、中性子吸収材としては、銀合金の粉末或いはカドミウム化合物の粉末などを用いてもよい。また、収容体 7 2 の積層数は特に制限されない。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 5 1 】

【 図 1 】 本発明に係る中性子遮蔽体の第 1 実施形態を示す図。

【 図 2 】 中性子遮蔽体の要部拡大図 (断面図) 。

【 図 3 】 中性子遮蔽体に設けられる収容体の支持機構を示す図。

【 図 4 】 本発明に係る中性子遮蔽体の第 2 実施形態を示す図。

【 図 5 】 本発明に係る中性子遮蔽体の第 3 実施形態を示す図。

【 符号の説明 】

【 0 0 5 2 】

2 0 ... 原子炉 , 2 1 ... 原子炉容器 , 2 2 ... 台座 , 2 3 ... ガードベッセル , 2 4 ... 遮蔽プラグ , 2 5 ... 炉心 , 2 6 ... 一次冷却材 , 2 7 ... 燃料集合体 , 2 8 ... 炉心槽 , 2 9 ... 隔壁 , 3 0 ... 炉心支持板 , 3 1 ... 炉心支持台 , 3 3 ... エントランスモジュール , 3 4 ... 上部支持板 , 3 5 ... 反射体 , 3 6 ... 駆動軸 , 3 7 ... 反射体駆動装置 , 3 8 ... 炉停止棒 , 3 9 ... 炉停止棒駆動装置 , 4 0 ... 格納ドーム , 4 5 ... 電磁ポンプ , 4 6 ... 中間熱交換器 , 4 7 ... 2 次冷却材入口ノズル , 4 8 ... 2 次冷却材出

10

20

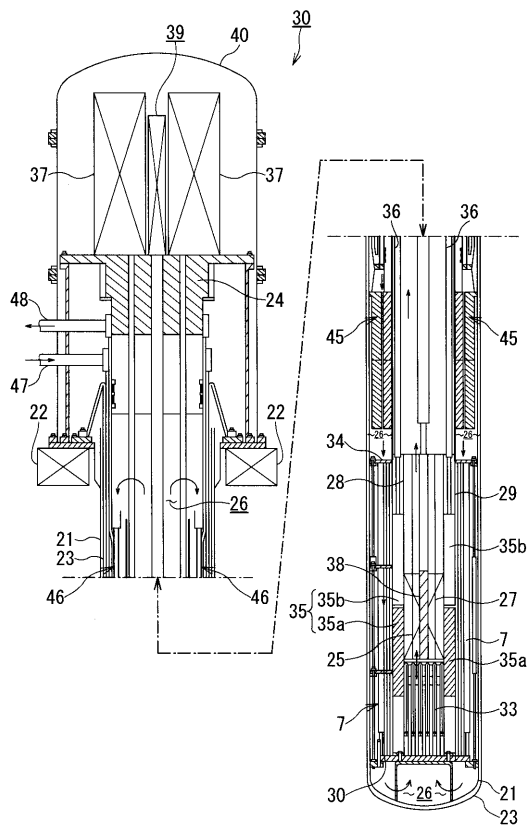
30

40

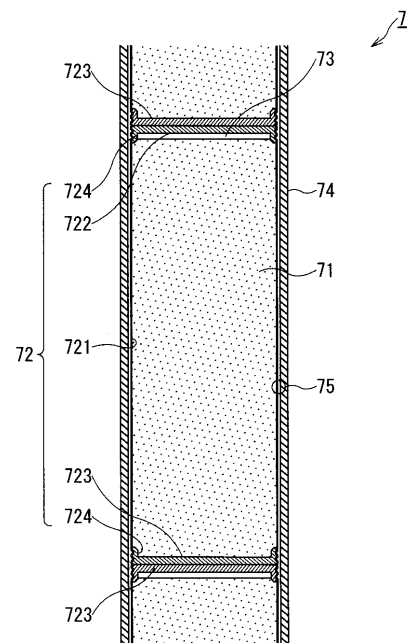
50

口ノズル， 7、7 A ... 中性子遮蔽体， 7 1 ... 中性子吸収材， 7 2、7 2 A、7 2 B ... 収容体， 7 2 1 ... シュラウド管， 7 2 2、7 2 2 A、7 2 2 B ... 蓋板， 7 2 3、7 2 3 A、7 2 3 B ... 底板， 7 2 4 ... 接合部， 7 3 ... 空間， 7 4 ... 被覆管， 7 4 1 ... 上部室， 7 5 ... 隙間， 7 6 ... 支持機構， 7 6 1 ... ベース， 7 6 2 ... 締結具， 7 6 3 ... 案内棒， 7 6 4 ... ガイド， 7 6 5 ... スプリング， 7 7 ... 上部端栓。

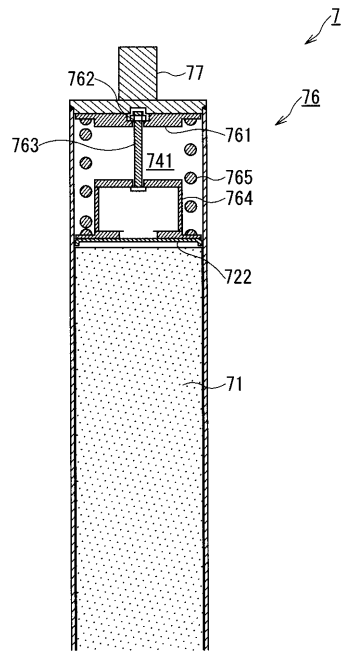
【 図 1 】



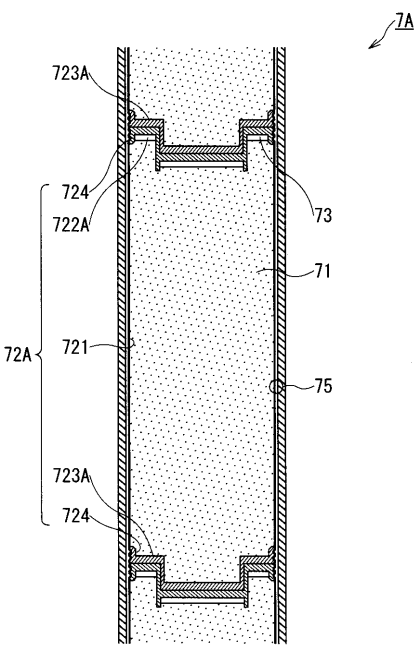
【 図 2 】



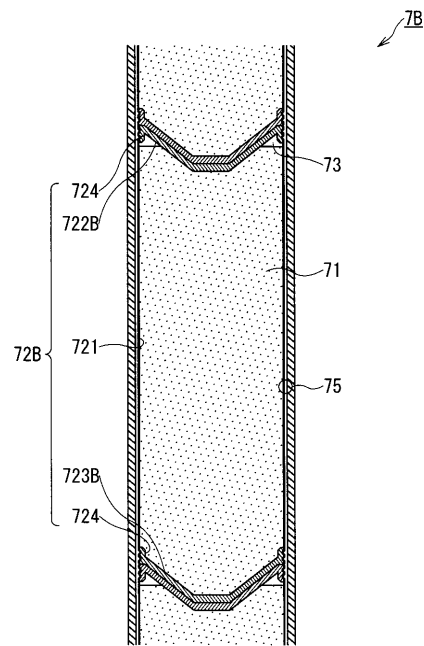
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



フロントページの続き

- (72)発明者 稲富 誉也
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 鈴木 俊幸
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 中村 博
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 堺 俊郎
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内