

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6872818号
(P6872818)

(45) 発行日 令和3年5月19日(2021.5.19)

(24) 登録日 令和3年4月22日(2021.4.22)

(51) Int. Cl.	F I	
G 2 1 F 5/00 (2006.01)	G 2 1 F 5/00	K
G 2 1 F 3/00 (2006.01)	G 2 1 F 3/00	N
G 2 1 F 5/005 (2006.01)	G 2 1 F 5/005	
G 2 1 F 9/36 (2006.01)	G 2 1 F 9/36	5 0 1 F
G 2 1 C 19/06 (2006.01)	G 2 1 F 9/36	5 0 1 C
請求項の数 17 (全 14 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2020-1574 (P2020-1574)	(73) 特許権者	501204525
(22) 出願日	令和2年1月8日(2020.1.8)		国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
(62) 分割の表示	特願2015-59427 (P2015-59427) の分割		東京都三鷹市新川6丁目38番1号
原出願日	平成27年3月23日(2015.3.23)	(74) 代理人	100097113
(65) 公開番号	特開2020-56800 (P2020-56800A)		弁理士 堀 城之
(43) 公開日	令和2年4月9日(2020.4.9)	(74) 代理人	100162363
審査請求日	令和2年1月10日(2020.1.10)		弁理士 前島 幸彦
		(72) 発明者	浅見 光史
			東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内
		審査官	関口 英樹
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 溶融核燃料収納容器と粒状体の製造方法、及び溶融核燃料収納容器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

溶融した核燃料である溶融核燃料を内部に収容する溶融核燃料収納容器と粒状体の製造方法であって、

上側が開口され下側が閉じた円筒形状の外殻部と、

前記外殻部の内部に収容され、上側が開口され下側が閉じた、前記溶融核燃料を内部に収容する円筒形状の内殻部と、

前記外殻部の内面と前記内殻部の外面との間に複数の粒子状の粒状体が粒体状態で充填されることによって形成される中性子吸収層と、

を具備する前記溶融核燃料収納容器において、

前記中性子吸収層を形成するために充填される前記粒状体を、平均粒径が50 μm ~ 1000 μmの中性子吸収断面積が100バーン以上である元素、又はその化合物を含む微粒子を造粒し、焼結し、0.5 mm ~ 4 mmの平均粒径を有する焼結体として形成するとともに、

先ず前記外殻部の内側の底面に前記粒状体を敷き詰め、底面側においてのみ前記中性子吸収層を形成し、次に前記内殻部を前記外殻部の内側の底面側の前記中性子吸収層の上に載置し、さらに前記外殻部の内面と前記内殻部の外面との間の空間に再び前記粒状体を充填し側面側において前記中性子吸収層を形成することを特徴とする溶融核燃料収納容器と粒状体の製造方法。

【請求項2】

10

20

前記微粒子と結合剤とを混合し、攪拌し、凝集させて造粒することによって前記焼結をする前の前記粒状体を得ることを特徴とする請求項 1 に記載の溶融核燃料収納容器と粒状体の製造方法。

【請求項 3】

前記粒状体は、少なくともホウ素 (B)、ロジウム (R h)、カドミウム (C d)、インジウム (I n)、サマリウム (S m)、ユーロピウム (E u)、ガドリニウム (G d)、ジスプロシウム (D y)、エルビウム (E r) のいずれか、あるいはその化合物を含む前記微粒子を含んで焼結されて形成されたことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の溶融核燃料収納容器と粒状体の製造方法。

【請求項 4】

前記微粒子は、 B_4C 、 Gd_2O_3 のうちの少なくともいずれかで構成されたことを特徴とする請求項 3 に記載の溶融核燃料収納容器と粒状体の製造方法。

【請求項 5】

請求項 1 から請求項 4 までのいずれか 1 項に記載の溶融核燃料収納容器と粒状体の製造方法を用いて製造された前記粒状体が前記外殻部の内面と前記内殻部の外面との間の底面側と側面側に粒体状態で充填されていることを特徴とする溶融核燃料収納容器。

【請求項 6】

前記内殻部の上部を封止する蓋部を具備することを特徴とする請求項 5 に記載の溶融核燃料収納容器。

【請求項 7】

前記内殻部の内部に、水素を水に変換する反応を促進する脱水素触媒を備えたことを特徴とする請求項 6 に記載の溶融核燃料収納容器。

【請求項 8】

前記蓋部の下面に前記脱水素触媒が固定されたことを特徴とする請求項 7 に記載の溶融核燃料収納容器。

【請求項 9】

前記蓋部の下面側に設けられ開口を介して前記内殻部の内部の空間と連通した触媒室に、ペレット状とされた複数の前記脱水素触媒が収容される構成とされたことを特徴とする請求項 7 に記載の溶融核燃料収納容器。

【請求項 10】

前記内殻部の内部に、水素を水に変換する反応を促進する脱水素触媒を備えたことを特徴とする請求項 5 に記載の溶融核燃料収納容器。

【請求項 11】

前記脱水素触媒は、パラジウム (P d) を含んで構成されることを特徴とする請求項 7 から請求項 10 までのいずれか 1 項に記載の溶融核燃料収納容器。

【請求項 12】

前記脱水素触媒の表面は、撥水処理されたことを特徴とする請求項 11 に記載の溶融核燃料収納容器。

【請求項 13】

少なくとも前記外殻部、前記内殻部のいずれかの表面に中性子吸収被覆層が形成されたことを特徴とする請求項 5 から請求項 12 までのいずれか 1 項に記載の溶融核燃料収納容器。

【請求項 14】

前記中性子吸収被覆層は、少なくともホウ素 (B)、ロジウム (R h)、カドミウム (C d)、インジウム (I n)、サマリウム (S m)、ユーロピウム (E u)、ガドリニウム (G d)、ジスプロシウム (D y)、エルビウム (E r) のいずれか、あるいはその化合物を含む第 2 の微粒子を含んで形成されたことを特徴とする請求項 13 に記載の溶融核燃料収納容器。

【請求項 15】

前記第 2 の微粒子は、 B_4C 、 Gd_2O_3 のうちの少なくともいずれかで構成されたこ

10

20

30

40

50

とを特徴とする請求項 1 4 に記載の熔融核燃料収納容器。

【請求項 1 6】

前記中性子吸収被覆層は、前記第 2 の微粒子を含むフリットを用いて形成された珪瑯層であることを特徴とする請求項 1 4 又は 1 5 に記載の熔融核燃料収納容器。

【請求項 1 7】

少なくとも前記外殻部、前記内殻部のいずれかがステンレス鋼で構成されたことを特徴とする請求項 5 から請求項 1 6 までのいずれか 1 項に記載の熔融核燃料収納容器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、熔融した核燃料（熔融核燃料）を收容、保管する熔融核燃料収納容器用の粒状体の製造方法、及び熔融核燃料収納容器に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、破損した原子炉の処理においては、熔融した核燃料（熔融核燃料）を回収、保管する必要がある。この際、熔融核燃料を保管するに際しては、熔融核燃料間で相互作用して核分裂の連鎖反応が起らない（再臨界しない）ことが要求される。また、放射性物質を飛散させないように容器内の気密性も要求される。多量の熔融核燃料を保管するためには、この容器を安価に大量に製造できることも必要である。

【0003】

実際に、スリーマイル島原子力発電所事故（1979年）後の処理においては、熔融核燃料片が熔融核燃料収納容器に収納・運搬されており、その詳細は非特許文献 1 に記載されている。図 6 は、この熔融核燃料収納容器の構成を示す断面図である。この放射性物質收容容器（熔融核燃料収納容器）200 が收容する対象となるのは、熱中性子で核分裂反応を引き起こす可能性のある熔融核燃料 S である。このため、その外壁 201 は、中性子吸収能力の高い低密度コンクリートで構成されたコンクリート壁 201 A を主体とし、コンクリート壁 201 A の表面が薄い外壁表皮 201 B で覆われている。この構造の中に熔融核燃料 S が収納された状態で、上側から蓋部 202 で密封される。これによって、核分裂反応を引き起こす熱中性子が抑制されるため、熔融核燃料 S を安全に保管、運搬することができる。また、コンクリートは安価な材料であり、かつ上記のコンクリート壁 201 A（熔融核燃料収納容器）の形状とすることができるため、この熔融核燃料収納容器 200 を安価に大量に製造することができ、多量の熔融核燃料 S を保管、運搬することができる。

【0004】

中性子（熱中性子）を遮蔽及び吸収するための材料としては、コンクリート（特に低密度コンクリート）の他に、例えば、特許文献 1 に記載のように、熱中性子の吸収断面積が比較的大きな元素であるホウ素（B）、ガドリニウム（Gd）が含まれる材料が知られている。特に、これらの元素を含み、安価、安定、かつ取り扱いが容易な炭化ホウ素（B₄C）、酸化ガドリニウム（Gd₂O₃）が特に好ましく用いられる。ただし、例えばこれらの材料を上記のコンクリートの代わりに用いて熔融核燃料収納容器を製造することは容易ではなく、この場合には安価に大量の熔融核燃料収納容器を製造することは困難である。このため、上記の熔融核燃料収納容器 200 に、更にこれらの物質からなる中性子吸収板等を組み合わせる、あるいは上記のコンクリート壁 201 A にこれらの物質を添加することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2013 - 190263 号公報

【非特許文献】

【0006】

10

20

30

40

50

【非特許文献1】" Nuclear Waste、 Shipping Damaged Fuel From Three Mile Island to Idaho"、 GAO/RECD-87-123、 August 1987、 General Accounting Office、 Washington D.C. (1987年)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、一般的にはコンクリートは水分を多く含み、この水分（水分子）が放射線の照射によって解離し、水素ガスが発生する。更に、コンクリートだけでなく、一般的には熔融核燃料自身にも水分が多く含まれているため、熔融核燃料収納容器内で爆発性の水素ガスが多量に発生し、その処理が必要となった。このため、安全性の確保のために、熔融核燃料収納容器において内部のガスを抜くための機構を設けることが必要となり、これを用いて水素ガスを熔融核燃料収納容器の外部に放出する必要があった。しかしながら、この場合には、水素ガスだけでなく、例えば小さな熔融核燃料片、気体状核分裂生成物も同時に外部に放出された。

【0008】

特に、原子炉の炉心の損傷が激しい場合には、回収すべき熔融核燃料の形状は不定となり、小さな粉末状となったものや、比較的大きな塊状のものが混在する。また、その表面においては熔融時の高温のために化学反応（例えば酸化反応）が進行するため、保管すべき熔融核燃料の状態は様々となり、こうした様々な状態の熔融核燃料を常に安全に保管することが要求される。これに対して、上記の熔融核燃料収納容器では、これを安全に保管・運搬することが困難であった。

【0009】

すなわち、熔融核燃料を安全に保管、運搬する熔融核燃料収納容器を容易に製造できることが求められた。

【0010】

本発明は、かかる問題点を鑑みてなされたものであり、熔融核燃料を安全に保管、運搬することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明は、上記課題を解決すべく、以下に掲げる構成とした。

本発明の請求項1に係る熔融核燃料収納容器と粒状体の製造方法は、熔融した核燃料である熔融核燃料を内部に收容する熔融核燃料収納容器と粒状体の製造方法であって、上側が開口され下側が閉じた円筒形状の外殻部と、前記外殻部の内部に收容され、上側が開口され下側が閉じた、前記熔融核燃料を内部に收容する円筒形状の内殻部と、前記外殻部の内面と前記内殻部の外面との間に複数の粒子状の粒状体が粒体状態で充填されることによって形成される中性子吸収層と、を具備する前記熔融核燃料収納容器において、前記中性子吸収層を形成するために充填される前記粒状体を、平均粒径が $50\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$ の中性子吸収断面積が100バーン以上である元素、又はその化合物を含む微粒子を造粒し、焼結し、 $0.5\text{mm} \sim 4\text{mm}$ の平均粒径を有する焼結体として形成するとともに、先ず前記外殻部の内側の底面に前記粒状体を敷き詰め、底面側においてのみ前記中性子吸収層を形成し、次に前記内殻部を前記外殻部の内側の底面側の前記中性子吸収層の上に載置し、さらに前記外殻部の内面と前記内殻部の外面との間の空間に再び前記粒状体を充填し側面側において前記中性子吸収層を形成することを特徴とする。

この発明においては、外殻部（外筒）と内殻部（内筒）の間に、中性子吸収能力をもつ粒状体が充填されることによって中性子吸収層が形成される。中性子により核分裂反応を引き起こす熔融核燃料は、脱水素触媒と共に内殻部の内部に收容される。ここで、平均粒径が $50\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$ の微粒子の焼結体から構成される粒状体の平均粒径は、 $0.5\text{mm} \sim 4\text{mm}$ の範囲とされ、平均粒径は、例えばJISZ8827に規定される粒状体30Pの円相当径の平均値として定義される。ここで、この粒状体は、平均粒径が 50μ

m ~ 1000 μm の中性子吸収断面積が 100 バーン以上である元素、又はその化合物を含む微粒子を造粒し、焼結して得られる。この際、外殻部の底面側、内殻部の側面と外殻部との間、のそれぞれにおいて個別にこの粒状体が充填されて中性子吸収層が形成される

本発明の請求項 2 に係る溶融核燃料収納容器用の粒状体の製造方法は、前記微粒子と結合剤とを混合し、攪拌し、凝集させて造粒することによって前記焼結をする前の前記粒状体を得ることを特徴とする。

本発明の請求項 3 に係る溶融核燃料収納容器と粒状体の製造方法において、前記粒状体は、少なくともホウ素 (B)、ロジウム (Rh)、カドミウム (Cd)、インジウム (In)、サマリウム (Sm)、ユーロピウム (Eu)、ガドリニウム (Gd)、ジスプロシウム (Dy)、エルビウム (Er) のいずれか、あるいはその化合物を含む前記微粒子を含んで焼結されて形成されたことを特徴とする。

この発明においては、上記のような、中性子吸収断面積の大きな元素、あるいはその化合物を含む第 1 の微粒子が、前記の粒状体に含まれる。この際、粒状体は、第 1 の微粒子を含む焼結体とされる。

本発明の請求項 4 に係る溶融核燃料収納容器と粒状体の製造方法において、前記微粒子は、 B_4C 、 Gd_2O_3 のうちの少なくともいずれかで構成されたことを特徴とする。

この発明においては、第 1 の微粒子は、 B_4C 及び / 又は Gd_2O_3 で構成される。

【0012】

本発明の請求項 5 に係る溶融核燃料収納容器は、前記溶融核燃料収納容器と粒状体の製造方法を用いて製造された前記粒状体が前記外殻部の内面と前記内殻部の外面との間の底面側と側面側に粒状状態で充填されていることを特徴とする。

本発明の請求項 6 に係る溶融核燃料収納容器は、前記内殻部の上部を封止する蓋部を具備することを特徴とする。

この発明においては、内殻部 (内筒) が、蓋部によって封止される。

本発明の請求項 7 に係る溶融核燃料収納容器は、前記内殻部の内部に、水素を水に変換する反応を促進する脱水素触媒を備えたことを特徴とする。

本発明の請求項 8 に係る溶融核燃料収納容器は、前記蓋部の下面に前記脱水素触媒が固定されたことを特徴とする。

この発明においては、脱水素触媒が蓋部の下面 (内殻部の内部側) に固定される。

本発明の請求項 9 に係る溶融核燃料収納容器は、前記蓋部の下面側に設けられ開口を介して前記内殻部の内部の空間と連通した触媒室に、ペレット状とされた複数の前記脱水素触媒が収容される構成とされたことを特徴とする。

この発明においては、ペレット状とされた脱水素触媒が、蓋部に形成された触媒室に、その総量が調整されて設けられる。

本発明の請求項 10 に係る溶融核燃料収納容器は、前記内殻部の内部に、水素を水に変換する反応を促進する脱水素触媒を備えたことを特徴とする。

本発明の請求項 11 に係る溶融核燃料収納容器において、前記脱水素触媒は、パラジウム (Pd) を含んで構成されることを特徴とする。

この発明においては、水素と酸素とを反応させて水を生成する反応において特に有効な Pd が脱水素触媒として用いられる。

本発明の請求項 12 に係る溶融核燃料収納容器において、前記脱水素触媒の表面は、撥水処理されたことを特徴とする。

この発明においては、脱水素触媒の表面が撥水処理される。

【0013】

本発明の請求項 13 に係る溶融核燃料収納容器は、少なくとも前記外殻部、前記内殻部のいずれかの表面に中性子吸収被覆層が形成されたことを特徴とする。

この発明においては、前記の中性子吸収層に加え、外殻部 (外筒) 及び / 又は内殻部 (内筒) の表面に、中性子吸収被覆層が形成される。

本発明の請求項 14 に係る溶融核燃料収納容器において、前記中性子吸収被覆層は、少

なくともホウ素 (B)、ロジウム (R h)、カドミウム (C d)、インジウム (I n)、サマリウム (S m)、ユーロピウム (E u)、ガドリニウム (G d)、ジスプロシウム (D y)、エルビウム (E r) のいずれか、あるいはその化合物を含む第 2 の微粒子を含んで形成されたことを特徴とする。

この発明においては、第 1 の微粒子と同様の組成をもつ第 2 の微粒子が中性子吸収被覆層に含まれる。

本発明の請求項 1 5 に係る熔融核燃料収納容器において、前記第 2 の微粒子は、 B_4C 、 Gd_2O_3 のうちの少なくともいずれかで構成されたことを特徴とする。

この発明においては、第 2 の微粒子は、 B_4C 及び / 又は Gd_2O_3 で構成される。

本発明の請求項 1 6 に係る熔融核燃料収納容器において、前記中性子吸収被覆層は、前記第 2 の微粒子を含むフリットを用いて形成された珪瑯層であることを特徴とする。

この発明においては、第 2 の微粒子を含むフリットを用いて生成された釉薬を外殻部 (外筒)、内殻部 (内筒) のいずれかの表面に塗布後、焼成することによって形成された珪瑯層が、前記の中性子吸収被覆層とされる。

本発明の請求項 1 7 に係る熔融核燃料収納容器は、少なくとも前記外殻部、前記内殻部のいずれかがステンレス鋼で構成されたことを特徴とする。

この発明においては、内殻部 (内筒) 及び / 又は外殻部 (外筒) が、ステンレス鋼で構成される。

【発明の効果】

【 0 0 1 4 】

本発明の熔融核燃料収納容器は以上のように構成されているので、熔融核燃料片を外部に漏洩させず、核分裂反応を引き起こす熱中性子を吸収することで熔融核燃料を再臨界させることなく、熔融核燃料を安全に密封して保管することができる熔融核燃料収納容器、これに用いる粒状体を容易に製造することができる。

この際、中性子吸収層を構成する粒状体が、上記の元素が含まれる微粒子を含むことによって、中性子吸収層の中性子吸収能力を高くすることができる。この際、 B_4C 、 Gd_2O_3 で構成される第 1 の微粒子を用いることによって、中性子吸収層を容易かつ安価に形成することができる。また、粒状体の平均粒径を $0.5\text{ mm} \sim 4\text{ mm}$ の範囲とすることにより、特に中性子吸収能力の高い中性子吸収層を得ることができる。

また、Pd を含む脱水素触媒を用いることによって、内殻部の内部における水素ガスの除去を特に効率的に行うことができ、この際、その表面に撥水処理を施すことによって、特にこの効率を高めることができる。また、内殻部の上部を封止する蓋部を設けることにより、外部から大気中の水分が連続的に侵入することがなくなり、脱水素触媒の能力が損なわれることがない。また、この蓋部に脱水素触媒を固定することによって、この熔融核燃料収納容器の扱いが特に容易となる。この際、ペレット状とされた脱水素触媒を蓋部に設けられた触媒室に収容する構成とすることによって、その蓋部への設置が容易かつその総量の調整も容易に行うことができる。

また、上記の中性子吸収層の他に中性子吸収被覆層も用いることによって、中性子吸収能力が更に高まる。この際、第 1 の微粒子と同様の第 2 の微粒子を中性子吸収被覆層に用いることによって、中性子吸収層と同様に中性子吸収能力の高い中性子吸収被覆層を得ることができる。この際、珪瑯層を中性子吸収被覆層とすることによって、特に中性子吸収被覆層と外殻部、内殻部との間の接合強度を高めることができ、信頼性の高い熔融核燃料収納容器を得ることができる。

この際、外殻部、内殻部をステンレス鋼とすれば、外殻部、内殻部の機械的強度、防錆性を高めると共に、珪瑯層を形成することも容易であるため、特に信頼性が高い熔融核燃料収納容器を安価に製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 5 】

【図 1】本発明の実施の形態に係る熔融核燃料収納容器の構造を示す断面図である。

【図 2】本発明の実施の形態に係る熔融核燃料収納容器の構造を示す斜視図である。

【図3】本発明の実施の形態に係る溶融核燃料収納容器の組み立て斜視図である。

【図4】本発明の実施の形態に係る溶融核燃料収納容器において、内筒に珪瑯層を形成した場合の構成を示す斜視図である。

【図5】本発明の実施の形態に係る溶融核燃料収納容器の変形例における蓋部の構成を示す斜視図（部分透視図）である。

【図6】従来の溶融核燃料収納容器の一例の構造を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明を実施するための形態となる放射性物質収容容器（溶融核燃料収納容器）について説明する。この溶融核燃料収納容器は、（熱）中性子により核分裂反応を引き起こす可能性のある放射性物質（例えば原子炉の溶融核燃料）を密封して収容する。ここで、この溶融核燃料収容容器は、核分裂反応を引き起こす熱中性子を吸収することで溶融核燃料の再臨界を抑制すると共に、溶融核燃料が密封された状態で内部に水素ガスが充満することも抑制される。このため、放射性物質をこの放射性物質収容容器に安全に収容・保管し、運搬もすることができる。

【0017】

図1は、この放射性物質収容容器100の構造を示す断面図であり、図2は、その斜視図である。この放射性物質収容容器100は、上側が開口され下側が閉じた円筒形状の外筒（外殻部）10を具備する。図1は、外筒10の円筒形状における中心軸に沿った断面が示されている。外筒10の内側には、外筒10と同軸とされ外筒10の内径よりも小さな外径、低い高さをもち、同様に上側が開口され下側が閉じた円筒形状の内筒（内殻部）20が、外筒10と内筒20の上面が同一平面を構成するように収容される。外筒10、内筒20は、共に十分な機械的強度、耐水性、防錆性をもつ材料、例えばステンレス鋼（鋼材）で構成される。

【0018】

図1において、右側には、外筒10と内筒20の間の構造が拡大されて示されている。内筒20の外表面と外筒10の内表面との間の空間には、粒子状の粒状体30Pが充填されて構成された中性子吸収層30が形成される。中性子吸収層30の詳細については後述する。

【0019】

また、外筒10及び内筒20の上側には、蓋部40が装着される。蓋部40は、内筒20の内面と対応した円筒形状の蓋部螺合部41を具備する。内筒20の上側内面にはねじ切り加工が施され、かつ蓋部螺合部41の外周には、これに螺合するねじ切り加工が施されている。これにより、蓋部40は、内筒20の上側にねじ止めされることによって装着される。また、蓋部40の蓋部螺合部41の外側においては、リングや金属ガスケット等（図示せず）が装着されており、このリング等によって、蓋部40を装着した際には、内筒20の上面と蓋部40との間、及び外筒10の上面と蓋部40との間が封止される。

【0020】

蓋部螺合部41（蓋部40）の下面側の内筒20の内部に対応した箇所には、脱水素触媒50が固定されている。脱水素触媒50の詳細については後述する。また、この構造における内筒20の内部に、溶融核燃料Sが収容される。溶融核燃料Sは、外筒10、内筒20、中性子吸収層30が図1のように組み合わせられた状態の内筒20内部に収容され、その後で、脱水素触媒50が固定された蓋部40が装着される。このため、脱水素触媒50は、溶融核燃料Sが収容され蓋部40で封止された内筒20内の空間に設けられる。蓋部40により、外部から大気中の水分が連続的に内筒20内部に侵入することがなくなり、脱水素触媒50の能力が損なわれることがない。

【0021】

図3は、外筒10、内筒20、中性子吸収層30を図1、2の形態とする際の組み立て斜視図である。ここでは、粒子状とされた粒状体30Pが用いられる。まず、図3（a）

に示されるように、共に下側が閉じ上側が開口された円筒形状の外筒10、内筒20が、別体として製造される。この形態の外筒10の内側の底面に、図3(b)に示されるように、粒状体30Pを敷き詰め、この底面側においてのみ中性子吸収層30を形成する。次に、図3(c)に示されるように、この状態で内筒20を外筒10の内側に載置し、図3(d)に示されるように、外筒10の内面と内筒20の外面との間の空隙に再び粒状体30Pを充填する。これによって、図1における外筒10、内筒20、中性子吸収層30を組み合わせた構造が製造でき、この状態において、内筒20の内部に溶融核燃料Sを収容することができる。ここでは、粒状体30Pが用いられるために、図3に示された製造方法を容易に実現することができる。なお、粒状体30Pを充填後、外筒10と内筒20を溶接等により閉じて形成することもできる。この場合、蓋部40は内筒20のみを封止できれば充分である。 10

【0022】

次に、中性子吸収層30を構成する粒状体30Pについて説明する。この粒状体30Pは、中性子吸収断面積の大きな元素を含んで構成される。この元素は、特許文献1に記載されたものと同様であり、中性子吸収断面積が例えば100バーン以上である、ホウ素(B)、ロジウム(Rh)、カドミウム(Cd)、インジウム(In)、サマリウム(Sm)、ユーロピウム(Eu)、ガドリニウム(Gd)、ジスプロシウム(Dy)、エルビウム(Er)である。これらは、安価、安定かつ取り扱いが容易である化合物の形態で用いることができる。この中でも、特に安価で安定な化合物であり、取り扱いが容易な炭化ホウ素(B₄C)あるいは酸化ガドリニウム(Gd₂O₃)が特に好ましく用いられる。周知のように、B₄CあるいはGd₂O₃は、微粒子(ナノ粒子)として製造され、例えばセラミックス材料に添加されて用いられる。しかしながら、これらの微粒子を上記の粒状体30Pとしてそのまま用いた場合には、これらの微粒子は極めて軽量であるために、例えば図3(d)のように内筒20の外側面と外筒10の内側面との間に中性子吸収層30を形成する際に、中性子吸収層30を空隙(鬆)を発生させずに形成することが困難である。このため、この場合には、高い中性子吸収能力を得ることが困難である。 20

【0023】

このため、この粒状体30Pは、上記の微粒子(第1の微粒子)が造粒・焼結されて構成された、平均粒径(直径)がより大きな0.5mm~4mm程度とされた粒子とされる。具体的には、平均粒径が50μm~1000μm程度の上記の微粒子と、結合剤(バインダ)とを混合し、攪拌等を行い凝集(造粒)させることによって、上記の平均粒子径の粒子状とすることができる。結合剤としては、例えばアクリル系高分子を用いることができる。造粒後に、約500程度の温度で焼結を行うことによって、水分等の不要な成分を揮発させた固体状とすることができる。粒状体30Pの平均粒径が上記の範囲よりも小さな場合には、中性子吸収層30に空隙(鬆)が発生しやすくなる。一方、粒状体30Pの平均粒径が上記の範囲よりも大きな場合には、隣接する粒状体30P間に形成される空間が広がるために、中性子吸収能力が低下する。この平均粒径のより好ましい範囲は1mm~2mmである。平均粒径は、攪拌の条件やその際の粘度の調整等によって設定できる。なお、ここで、粒状体30Pの平均粒径とは、例えばJISZ8827に規定される粒状体30Pの円相当径の平均値であり、円相当径は、粒状体30Pの投影面積(図2右側に対応する投影面)における投影面積と等しい円の直径である。 30 40

【0024】

このため、図6の構造で用いられたコンクリート壁201Aと比べて、中性子吸収層30をより緻密な構造とすることができ、かつ、結晶水として含有する水分を少なくすることができる。また、この構造を製造する際には、中性子吸収層30を成形する工程が不要であるため、放射性物質収容容器100において、この中性子吸収層30を特に容易に形成することができる。

【0025】

上記のようなB₄C、Gd₂O₃等の微粒子を、例えば外筒10、内筒20等を構成する鋼材等の金属材料と混合することによって、中性子吸収のために用いることも不可能で 50

はない。しかしながら、金属材料に対するこれらの微粒子の添加量を多くしたい場合には、中性子の吸収効果が高まる一方、外筒、内筒等の製造が困難となり、かつ、金属材料自身の機械的強度等、構造材料としての特性が劣化する。このため、例えば放射性物質収容容器の一部（例えば外筒、内筒）としてこの金属材料を用いる場合には、この微粒子の濃度を例えば 1 mol % 程度以下と低くすることが必要であり、これを用いて高い中性子吸収能力を得ることが困難である。

【 0 0 2 6 】

これに対して、上記の放射性物質収容容器 1 0 0 においては、外筒 1 0、内筒 2 0 は、共に、構造材料としての適正な特性は具備するが中性子吸収能力が小さなステンレス鋼等の鋼材を用いて構成することができる。一方、中性子吸収層 3 0（粒状体 3 0 P）を、中性子の吸収能力を考慮するが構造材料としての特性を考慮せずに設定することができる。このため、上記の放射性物質収容容器 1 0 0 においては、十分な機械的強度、耐熱性等と、高い中性子吸収能力を得ることができる。

【 0 0 2 7 】

ただし、鋼材で構成された外筒 1 0 や内筒 2 0 の表面にも、上記の中性子吸収層 3 0 を構成する第 1 の微粒子と同様の組成を持つ第 2 の微粒子を固着させることによって、更に中性子吸収能力を高めることができる。これは、例えば、外筒 1 0、内筒 2 0 に対して珪瑯処理を行うことによって実現される。図 4 は、こうした珪瑯処理が施された内筒 2 0 の構成を示す斜視図である。この場合には、内筒（内殻部）6 0 の内面（熔融核燃料 S が収容される側）に一樣に中性子吸収被覆層（珪瑯層）6 1 が形成されている。内筒 6 0 における中性子吸収被覆層 6 1 以外の構成は、前記の内筒 2 0 と同様である。このため、この内筒 6 0 を前記の内筒 2 0 に代えて、同様に用いることができる。

【 0 0 2 8 】

内筒 2 0 の内面に中性子吸収被覆層（珪瑯層）6 1 を形成する珪瑯処理は、例えば上記の第 1 の微粒子と同様の B_4C 、 Gd_2O_3 等の微粒子（第 2 の微粒子）が混合されたガラス材料からなるフリット（珪砂）を含む釉薬を内筒 6 0 の表面に塗布した後に、焼成処理を行うことによって行われる。内筒 6 0 をステンレス鋼で構成した場合には、こうした珪瑯処理が可能である。こうした中性子吸収被覆層は、内筒の外面、あるいは外筒の内面又は外面に形成することもできる。これによって、外筒、内筒等を構成する材料に同様の微粒子を混合した場合は異なり、内筒 6 0 における高い機械的強度等を維持したまま、これらに高い中性子吸収能力も付与することができる。

【 0 0 2 9 】

また、こうした中性子吸収被覆層（珪瑯層）6 1 を容易かつ安定して形成することができるステンレス鋼で内筒 6 0 を形成することが特に好ましい。ただし、ステンレス鋼は、高い機械的強度、耐熱性、防錆性をもつため、中性子吸収被覆層 6 1 を設けない場合であっても、内筒 2 0 の材料として特に好ましく用いることができる。

【 0 0 3 0 】

上記の構成においては、中性子吸収層 3 0 の含有水分を図 6 におけるコンクリート壁 2 0 1 A よりも低減することができるため、中性子吸収層 3 0 から発生する水素ガスの量を低減することができる。ただし、収容される熔融核燃料 S が水分を含む場合には、ここから水素ガスが発生する。この水素ガスは、脱水素触媒 5 0 によって再び水に変化する。

【 0 0 3 1 】

脱水素触媒 5 0 として、水素と酸素とを反応させて水を生成する反応を促進する触媒効果のあるパラジウム（Pd）がアルミナ（ Al_2O_3 ）粉末に 0.5 mol % 程度担持されて焼結されたパラジウム - アルミナ触媒（例えば特開 2 0 1 3 - 4 9 0 3 4 号公報）を特に好ましく用いることができる。このようなパラジウム - アルミナ触媒においては、その実効表面積が高くなるため、水素ガスを水に変換する反応を高効率で発生させ、水分が解離して発生した水素ガスと酸素ガスを、この触媒反応によって再び安全性の高い水（水分）に変化させることができる。

【 0 0 3 2 】

10

20

30

40

50

また、ペレット（小片）状とした脱水素触媒を用いることにより、脱水素触媒の蓋部への設置を特に容易とすることができる。図5は、こうした脱水素触媒51を設けることができる蓋部45の構成を示す斜視図（部分透視図）である。図5においては、蓋部45が図2の場合とは上下方向が逆転して示されており、図中下側が実際の上側となっている。この蓋部45においては、内筒20の上面を封止する蓋部上板部46が設けられ、蓋部上板部46は、固定用ねじ穴461を貫通するねじ（図示せず）によって外筒10の上面に固定される。なお、この場合にも封止のためにOリング等が用いられるが、図示は省略されている。

【0033】

蓋部上板部46の下側（図中上側）には、小さな脱水素触媒51を複数收容することのできる触媒保持部47が設けられる。触媒保持部47は、蓋部上板部46の下面において下側に突出するように設けられた全高の小さな円筒形状の触媒保持部基部471と、触媒保持部基部471よりも全高の大きな、その内面が触媒保持部基部471の外面に嵌合した状態で触媒保持部基部471に固定される触媒保持部カバー472とが組み合わせて構成される。触媒保持部カバー472は、触媒保持部カバー固定ねじ48を用いて触媒保持部基部471に固定される。この際、触媒保持部基部471の下側（図中における上側）と触媒保持部カバー472の下面（図中における上面）との間には、複数の脱水素触媒51を保持可能な触媒室47Aが形成される。また、触媒保持部カバー472の下面には、多数の開口472Aが形成されている。このため、脱水素触媒51が收容された触媒室47Aは、溶融核燃料Sが收容された内筒20内の空間と開口472Aを介して連通し、この空間内における水素ガスを脱水素触媒51によって水に変換することができる。

【0034】

脱水素触媒51を、例えば円筒形状を中心軸方向に垂直に細かく切断した直径が5mm程度の小さな円筒形状とし、開口472Aの内径をこの直径よりも小さく設定すれば、触媒室47A中に多数の脱水素触媒51を保持することができる。この際、脱水素触媒51をこうした形態とすることにより、多数の脱水素触媒51を安価に得ることができる。また、触媒室47A中に任意の数の脱水素触媒51を收容することができ、この数は、收容される溶融核燃料Sの重量や幾何学的大きさに応じて設定することができる。これによって、触媒反応を効率的に発生させ、水素ガスをより効率的に除去することができる。なお、脱水素触媒の形状は、小さな円筒形状でなくとも、小片状（ペレット状）であれば、同様に用いることができる。また、開口を介して内筒の内部の空間と連通し蓋部に設けられた触媒室内に脱水素触媒を收容できる構成であれば、図5に示された構成以外の蓋部を用いることもできる。

【0035】

また、脱水素触媒50の表面に水分が付着すると、水素ガスと接触する面積が小さくなり触媒反応が阻害されるため、脱水素触媒50の表面には、例えばフッ素系ウレタン樹脂、シリコン樹脂を用いた撥水処理を施すことが好ましい。

【0036】

放射性物質收容容器100内部における水素ガスの発生量が多量である場合には、脱水素触媒を用いた水素ガスの処理がその発生に追いつかず、その効果が不十分となる。このため、放射性物質收容容器100自身に含まれる水分が少なく、除去対象となる水素ガスが、溶融核燃料Sに含まれる水分から発生した水素ガスのみである場合において、このような脱水素触媒50を用いることは特に有効である。このため、上記の構成の中性子吸収層30あるいは更に中性子吸収被覆層61と脱水素触媒50とを組み合わせることが、放射性物質收容容器100中の水素ガスの量を低減する上で、特に有効である。

【0037】

このため、この放射性物質收容容器100においては、内部に溜まったガスを外部に放出するための機構を設けることは不要である。このため、溶融核燃料片を外部に飛散させるおそれがなく、溶融核燃料Sの密封性を高めることができ、その運搬も容易となる。

【0038】

10

20

30

40

50

なお、上記の例では、外筒10、内筒20の両方が蓋部40、45によって封止されたが、蓋部は、少なくとも内筒を封止すれば充分である。この際、上記の蓋部40においては蓋部40の下側に設けられた蓋部螺合部41を内筒20の上側に固定することによって蓋部40が装着され、上記の蓋部45は蓋部上板部46がねじによって内筒20に装着されたが、蓋部の装着方法も任意である。更に、内筒や外筒を封止する蓋部を用いず、例えば図2における蓋部40を除いた構造が他の容器中に密封されていてもよい。

【0039】

また、上記の例では、外筒（外殻部）10、内筒（内殻部）20が共に円筒形状とされたが、上記と同様に、内殻部の内側に放射性物質を収容し、かつ内殻部の外面と外殻部の内面との間に中性子吸収層を形成できる形状であれば、外殻部、内殻部の形状は任意である。

10

【0040】

また、脱水素触媒の材料や、中性子吸収層、中性子吸収被覆層を構成する材料についても、同様の効果を奏するものであれば、同様に用いることができる。また、特に中性子吸収被覆層については、珪瑯層以外にも、他の成膜方法で内筒や外筒の表面に形成されたものを用いることもできる。

【産業上の利用可能性】

【0041】

上記のとおり、上記の放射性物質収容容器は、原子炉の熔融核燃料の回収、保管、運搬において特に有効である。しかしながら、熔融核燃料に関わらず、中性子放射性物質、例えば製造途中の核燃料の保管等においても、有効であることは明らかである。

20

【符号の説明】

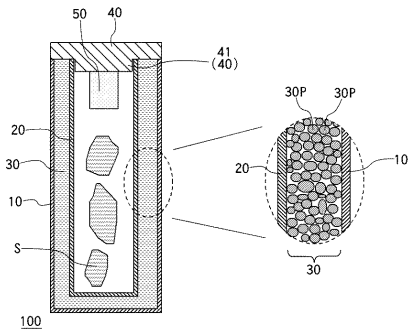
【0042】

- 10 外筒（外殻部）
- 20、60 内筒（内殻部）
- 30 中性子吸収層
- 30P 粒状体
- 40、45、202 蓋部
- 41 蓋部螺合部（蓋部）
- 46 蓋部上板部
- 47 触媒保持部
- 47A 触媒室
- 48 触媒保持部カバー固定ねじ
- 50、51 脱水素触媒
- 61 中性子吸収被覆層
- 100、200 放射性物質収容容器（熔融核燃料収納容器）
- 201 外壁
- 201A コンクリート壁
- 201B 外壁表皮
- 461 固定用ねじ穴
- 471 触媒保持部基部
- 472 触媒保持部カバー
- 472A 開口
- S 熔融核燃料

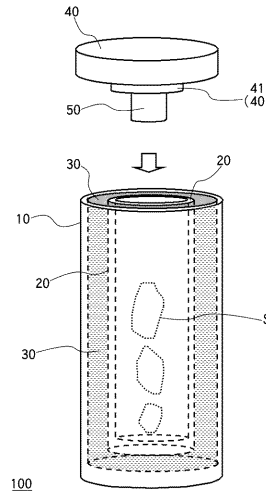
30

40

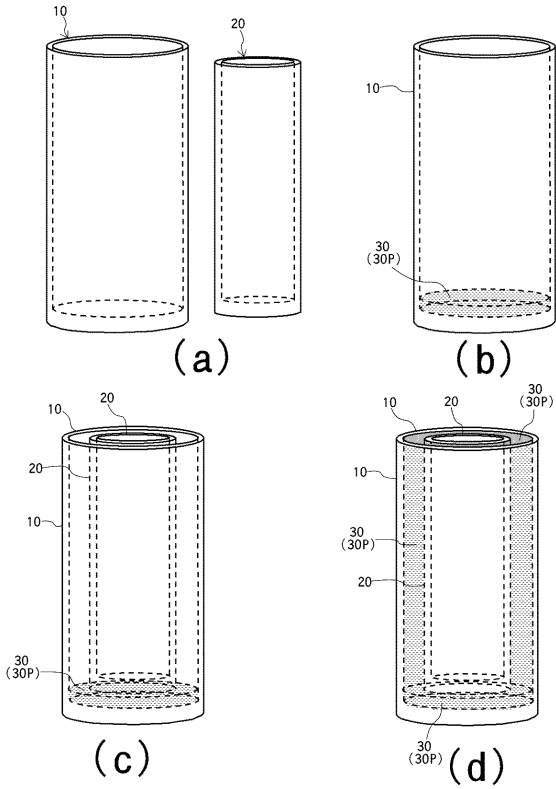
【図1】



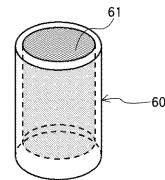
【図2】



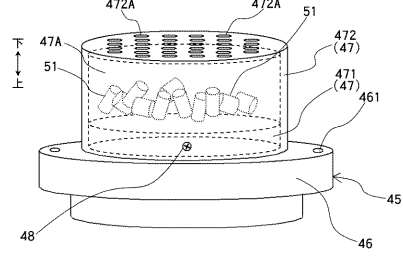
【図3】



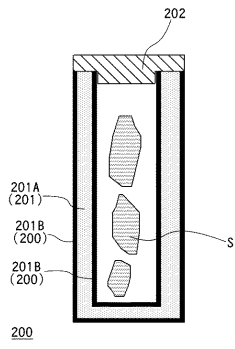
【図4】



【図5】



【図 6】



 フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		
G 2 1 F	1/08	(2006.01)	G 2 1 C	19/06	4 0 0
G 2 1 F	9/02	(2006.01)	G 2 1 F	1/08	
			G 2 1 F	9/02	5 4 1 A

(56)参考文献 特開 2 0 0 0 - 2 7 5 3 9 1 (J P , A)
 国際公開第 2 0 1 5 / 0 0 8 3 7 0 (W O , A 1)
 特開 2 0 0 2 - 2 8 6 8 9 3 (J P , A)
 特開 2 0 1 1 - 1 7 4 7 7 3 (J P , A)
 特開 2 0 0 0 - 2 9 8 1 9 1 (J P , A)
 特開 2 0 1 3 - 1 9 0 2 6 3 (J P , A)
 特開 2 0 1 3 - 1 6 7 5 8 6 (J P , A)
 特開 2 0 1 4 - 0 6 2 7 8 7 (J P , A)
 特開昭 6 0 - 1 8 5 1 9 8 (J P , A)
 燃料デブリ収納・移送・保管技術開発，技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 平成25年度実績
 概要，2 0 1 4 年 6 月 2 7 日

(58)調査した分野(Int.Cl.，D B 名)
 G 2 1 C 7 / 0 0 - 9 / 0 6
 G 2 1 F 1 / 0 0 - 7 / 0 6