

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5597523号
(P5597523)

(45) 発行日 平成26年10月1日 (2014. 10. 1)

(24) 登録日 平成26年8月15日 (2014. 8. 15)

(51) Int. Cl.	F 1
G 2 1 C 19/32 (2006. 01)	G 2 1 C 19/32 W
G 2 1 F 5/10 (2006. 01)	G 2 1 F 5/00 N
G 2 1 F 9/36 (2006. 01)	G 2 1 F 9/36 5 O 1 J
	G 2 1 C 19/32 T

請求項の数 11 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2010-262738 (P2010-262738)	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成22年11月25日 (2010. 11. 25)		株式会社東芝
(65) 公開番号	特開2012-112834 (P2012-112834A)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43) 公開日	平成24年6月14日 (2012. 6. 14)	(74) 代理人	110001092
審査請求日	平成25年7月8日 (2013. 7. 8)		特許業務法人サクラ国際特許事務所
		(72) 発明者	渡辺 庄一
			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	三橋 偉司
			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	熊埜御堂 宏徳
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃料集合体収納方法および燃料集合体収納体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

格子状に配列された複数の収納空間を形成するバスケットをキャスク本体内に収納し、使用済み燃料集合体を前記複数の収納空間のそれぞれに収納する使用済み燃料集合体収納方法において、

前記複数の収納空間のうちの最外周収納空間を除く複数の中央収納空間のうちの一部の収納空間にMOX使用済み燃料集合体を1体ずつ収納するMOX使用済み燃料集合体収納ステップと、

前記複数の収納空間のうちの前記MOX使用済み燃料集合体を収納しない複数の収納空間にウラン使用済み燃料集合体を1体ずつ収納するウラン使用済み燃料集合体収納ステップと、

を有し、

前記MOX使用済み燃料集合体収納ステップは、前記MOX使用済み燃料集合体を、互いに隣接しない収納空間のみに収納すること、を特徴とする使用済み燃料集合体収納方法。

【請求項 2】

格子状に配列された複数の収納空間を形成するバスケットをキャスク本体内に収納し、使用済み燃料集合体を前記複数の収納空間のそれぞれに収納する使用済み燃料集合体収納方法において、

前記複数の収納空間のうちの最外周収納空間を除く複数の中央収納空間のうちの一部の

10

20

収納空間にMOX使用済み燃料集合体を1体ずつ収納するMOX使用済み燃料集合体収納ステップと、

前記複数の収納空間のうちの前記MOX使用済み燃料集合体を収納しない複数の収納空間にウラン使用済み燃料集合体を1体ずつ収納するウラン使用済み燃料集合体収納ステップと、

を有し、

前記MOX使用済み燃料集合体は所定の原子力発電プラントで生じたものであって、

前記ウラン使用済み燃料集合体収納ステップは前記所定の原子力発電プラント以外のプラントで行なわれ、

前記MOX使用済み燃料集合体収納ステップは前記ウラン使用済み燃料集合体収納ステップの後に前記所定の原子力発電プラントで行なわれ、

当該使用済み燃料集合体収納方法は、前記ウラン使用済み燃料集合体収納ステップの後で前記MOX使用済み燃料集合体収納ステップの前に、前記ウラン使用済み燃料集合体収納ステップで前記ウラン使用済み燃料集合体が収納された状態の前記キャスク本体を前記所定の原子力発電プラントに輸送する輸送ステップを有すること、

を特徴とする使用済み燃料集合体収納方法。

【請求項3】

格子状に配列された複数の収納空間を形成するバスケットを、金属製の胴本体を含むキャスク本体内に収納し、使用済み燃料集合体を前記複数の収納空間のそれぞれに収納する使用済み燃料集合体収納方法において、

前記複数の収納空間のうちの最外周収納空間を除く複数の中央収納空間のうちの一部の収納空間にMOX使用済み燃料集合体を1体ずつ収納するMOX使用済み燃料集合体収納ステップと、

前記複数の収納空間のうちの前記MOX使用済み燃料集合体を収納しない複数の収納空間に、前記胴本体を構成する金属に比べて、熱伝導率が同等以上であり中性子反射効果が同等以下であり中性子吸収特性が同等以上である中性子吸収除熱体を収納する中性子吸収除熱体収納ステップと、

を有し、

前記中性子吸収除熱体は、ボロンまたはサマリウムを含有するアルミニウム合金製部材を含むこと、

を特徴とする使用済み燃料集合体収納方法。

【請求項4】

前記中性子吸収除熱体は、金属製の管の中に耐熱性の中性子吸収材または中性子減速材の少なくとも一方を含む封入物を封入したものであること、を特徴とする請求項3に記載の使用済み燃料集合体収納方法。

【請求項5】

格子状に配列された複数の収納空間を形成するバスケットを、金属製の胴本体を含むキャスク本体内に収納し、使用済み燃料集合体を前記複数の収納空間のそれぞれに収納する使用済み燃料集合体収納方法において、

前記複数の収納空間のうちの最外周収納空間を除く複数の中央収納空間のうちの一部の収納空間にMOX使用済み燃料集合体を1体ずつ収納するMOX使用済み燃料集合体収納ステップと、

前記複数の収納空間のうちの前記MOX使用済み燃料集合体を収納しない複数の収納空間に、前記胴本体を構成する金属に比べて、熱伝導率が同等以上であり中性子反射効果が同等以下であり中性子吸収特性が同等以上である中性子吸収除熱体を収納する中性子吸収除熱体収納ステップと、

を有し、

前記中性子吸収除熱体は、金属製の管の中に耐熱性の中性子吸収材または中性子減速材の少なくとも一方を含む封入物を封入したものであること、を特徴とする使用済み燃料集合体収納方法。

10

20

30

40

50

【請求項 6】

前記封入物は、耐熱性の中性子吸収材であるボロンカーバイドを含むこと、を特徴とする請求項 4 または請求項 5 に記載の使用済み燃料集合体収納方法。

【請求項 7】

前記中性子吸収除熱体は、金属製の管の中に耐熱性の中性子減速材であるカーボンまたはシリコンカーバイドを充填したものであること、を特徴とする請求項 4 ないし請求項 6 のいずれか 1 項に記載の使用済み燃料集合体収納方法。

【請求項 8】

前記 MOX 使用済み燃料集合体は所定の原子力発電プラントで生じたものであって、
前記中性子吸収除熱体収納ステップは前記所定の原子力発電プラントの外部で行なわれ

10

、
前記 MOX 使用済み燃料集合体収納ステップは前記中性子吸収除熱体収納ステップの後に前記所定の原子力発電プラントの内部で行なわれ、

前記使用済み燃料集合体収納方法は、前記中性子吸収除熱体収納ステップの後で前記 MOX 使用済み燃料集合体収納ステップの前に、前記中性子吸収除熱体収納ステップで前記中性子吸収除熱体が収納された状態の前記キャスクを前記所定の原子力発電プラントに輸送する輸送ステップを有すること、

を特徴とする請求項 3 ないし請求項 7 のいずれか一項に記載の使用済み燃料集合体収納方法。

【請求項 9】

20

格子状に配列された複数の収納空間を形成するバスケットを、金属製の胴本体を含むキャスク本体内に収納し、使用済み燃料集合体を前記複数の収納空間のそれぞれに収納する使用済み燃料集合体収納方法において、

前記複数の収納空間のうちの最外周収納空間を除く複数の中央収納空間のうちの一部の収納空間に MOX 使用済み燃料集合体を 1 体ずつ収納する MOX 使用済み燃料集合体収納ステップと、

前記複数の収納空間のうちの前記 MOX 使用済み燃料集合体を収納しない複数の収納空間に、前記胴本体を構成する金属に比べて、熱伝導率が同等以上であり中性子反射効果が同等以下であり中性子吸収特性が同等以上である中性子吸収除熱体を収納する中性子吸収除熱体収納ステップと、

30

を有し、

前記 MOX 使用済み燃料集合体は所定の原子力発電プラントで生じたものであって、
前記中性子吸収除熱体収納ステップは前記所定の原子力発電プラントの外部で行なわれ

、
前記 MOX 使用済み燃料集合体収納ステップは前記中性子吸収除熱体収納ステップの後に前記所定の原子力発電プラントの内部で行なわれ、

前記使用済み燃料集合体収納方法は、前記中性子吸収除熱体収納ステップの後で前記 MOX 使用済み燃料集合体収納ステップの前に、前記中性子吸収除熱体収納ステップで前記中性子吸収除熱体が収納された状態の前記キャスクを前記所定の原子力発電プラントに輸送する輸送ステップを有すること、

40

を特徴とする使用済み燃料集合体収納方法。

【請求項 10】

金属製の胴本体を含むキャスク本体と、
前記キャスク本体内に収納されて格子状に配列された複数の収納空間を形成するバスケットと、

前記複数の収納空間のうちの最外周収納空間を除く複数の中央収納空間のうちの一部の収納空間に 1 体ずつ収納された MOX 使用済み燃料集合体と、

前記複数の収納空間のうちの前記 MOX 使用済み燃料集合体を収納しない複数の収納空間に 1 体ずつ収納された、ウラン使用済み燃料集合体、または、前記胴本体を構成する金属に比べて、熱伝導率が同等以上であり中性子反射効果が同等以下であり中性子吸収特性

50

が同等以上である中性子吸収除熱体と、
を有し、

前記MOX使用済み燃料集合体が、前記最外周収納空間を除く複数の中央収納空間のうちで互いに隣接しない収納空間内だけに収納されていること、
を特徴とする使用済み燃料集合体収納体。

【請求項11】

金属製の胴本体を含むキャスク本体と、
前記キャスク本体内に収納されて格子状に配列された複数の収納空間を形成するバスケットと、

前記複数の収納空間のうちの最外周収納空間を除く複数の中央収納空間のうちの一部の収納空間に1体ずつ収納されたMOX使用済み燃料集合体と、

前記複数の収納空間のうちの前記MOX使用済み燃料集合体を収納しない複数の収納空間に1体ずつ収納された、前記胴本体を構成する金属に比べて、熱伝導率が同等以上であり中性子反射効果が同等以下であり中性子吸収特性が同等以上でありボロンまたはサマリウムを含有するアルミニウム合金製部材を含む中性子吸収除熱体と、

を有すること、を特徴とする使用済み燃料集合体収納体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、使用済み燃料集合体を輸送または貯蔵のためにキャスク内に収納する方法および、その方法によって収納された収納体に関する。

【背景技術】

【0002】

発電用軽水炉で一定期間使用された燃料は、炉心より取り出されて使用済み燃料プール等に一定期間保管され、その後に再処理工場に搬出される。再処理によって回収されたプルトニウムは再資源として取り出し、MOX燃料（二酸化プルトニウムと二酸化ウランの混合燃料）として再利用することになっている。現在、発生する使用済み燃料は発電需要と共に増大しているために、再処理工場が稼動しても国内で発生する使用済み燃料は再処理工場での処理容量を上回ることとなり、再処理されるまでの期間を適切に管理・貯蔵される必要がある。必要な貯蔵容量は、2010年で6,000tU規模、2020年で15,000tU規模であると予想されている。

【0003】

原子力発電所の敷地内外にて使用済み燃料を管理・貯蔵する方法として、乾式キャスク貯蔵、コンクリートキャスク貯蔵等の乾式貯蔵方式および水プールの湿式貯蔵方式の各方式があるが、コスト的にもまた長期にわたる安定貯蔵を考えた場合においても乾式貯蔵が注目されている。乾式貯蔵方式のうち、現在国内で実用化されているキャスク貯蔵方式は、乾式キャスクの中に使用済み燃料を燃料集合体の状態で収納し貯蔵する方法である。キャスクによる貯蔵施設では、発電所での燃料仕様およびサイト使用済み燃料貯蔵プールでの保管期間により、様々な状態の使用済み燃料を貯蔵することが考えられ、燃料仕様ごとに輸送貯蔵兼用キャスクを設計する必要がある。

【0004】

ところで、MOX燃料を軽水炉で燃焼させた結果として得られるMOX使用済み燃料では、同じ燃焼度のウラン燃料と比べてアクチナイド核種の量が増す。そのため、非特許文献1によれば、沸騰水型原子炉（BWR）燃料の一例では、MOX使用済み燃料で、ウラン使用済み燃料に比べて、 $Cm-242$ 、 $Cm-244$ 等により中性子放出率が7倍、 $Pu-238$ 等により発熱量が4割増の傾向を示す。したがって、MOX使用済み燃料の輸送・貯蔵では、特に中性子遮蔽と除熱の対策が課題と考えられる。

【0005】

中性子遮蔽能力と除熱能力の向上に向けて、MOX使用済み燃料に限らず従来から対策が検討されてきた。たとえば、遮蔽性能の確保の観点から特許文献1に見られるようにキ

10

20

30

40

50

ャスク胴本体とバスケットセル外側の間に遮蔽ブロックを挿入するもの、特許文献2に見られるようにキャスクの軽量化や伝熱効率向上を目的として胴本体とバスケット間にアルミ合金製のダミーパイプを挿入する方式が考案されている。

【0006】

MOX使用済み燃料集合体のキャスク内の収納方法については、特許文献3では、輸送・貯蔵キャスクにおいて臨界安全の観点から中性子増倍率を低減するためのウランとMOX使用済み燃料集合体の配置例が示されている。

【0007】

また、特許文献4や特許文献5には輸送貯蔵キャスクのバスケットにおいて、その集合体と略同重量の遮蔽体を配置することにより遮蔽効果を増して効率的な輸送、貯蔵を行なう方法が示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】実開昭61-140999号公報

【特許文献2】特開2001-74884号公報

【特許文献3】特開平7-260991号公報

【特許文献4】特開平2-176498号公報

【特許文献5】特開2005-9960号公報

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】「最新核燃料工学－高度化の現状と展望－」，「高度燃料技術」研究専門委員会 社団法人日本原子力学会編、2001年6月

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

特許文献1、2の従来例でみられるように、異なる燃料仕様に対して、それぞれの仕様・貯蔵状態に応じたキャスクの設計変更がなされるが、異なる燃料仕様に対してのバスケット内の使用済み燃料の具体的な配置方法については示されていない。

【0011】

特許文献3では臨界安全対策のためのMOX使用済み燃料の配置例が示されているが、MOX使用済み燃料がバスケット周辺部にも配置されているためキャスクの径方向の外表面線量率が低減されず、また一部のMOX使用済み燃料が相互に隣接配置されているためにキャスクの蓋部、底部の外表面で局所的に線量率が増加し、中性子遮蔽の観点からキャスク外表面での中性子線量を低減することにはならない。

【0012】

また、特許文献4、5においては、ステンレス鋼製の角管状の遮蔽体を、キャスクの内壁に接するバスケット周辺部に配置した場合、遮蔽効果が増すとしているが、一方では角管自身は中性子反射体としても振る舞うため、燃料集合体が収納された中央領域の中性子増倍が増し増倍中性子数も増すことになる。その結果、中性子線源の強さが増してその分だけ遮蔽効果の増加分は相殺されてしまう恐れがある。

【0013】

今後、MOX燃料の使用を考えると、キャスクの設計変更をせずに従来の使用済み燃料の輸送・貯蔵キャスクを運用することによって、製造コストの上昇を抑制することは経済的メリットの一つとなる。

【0014】

本発明の目的は、MOX使用済み燃料を従来使用されているキャスクで輸送貯蔵することができるよう、中性子遮蔽や除熱効果を増すことにある。

【課題を解決するための手段】

【0015】

上記目的を達成するために、本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法の一つの態様は、格子状に配列された複数の収納空間を形成するバスケットをキャスク本体内に収納し、使用済み燃料集合体を前記複数の収納空間のそれぞれに収納する使用済み燃料集合体収納方法において、前記複数の収納空間のうちの最外周収納空間を除く複数の中央収納空間のうちの一部の収納空間にMOX使用済み燃料集合体を1体ずつ収納するMOX使用済み燃料集合体収納ステップと、前記複数の収納空間のうちの前記MOX使用済み燃料集合体を収納しない複数の収納空間にウラン使用済み燃料集合体を1体ずつ収納するウラン使用済み燃料集合体収納ステップと、を有し、前記MOX使用済み燃料集合体収納ステップは、前記MOX使用済み燃料集合体を、互いに隣接しない収納空間内のみに収納すること、を特徴とする。

10

本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法の他の一つの態様は、格子状に配列された複数の収納空間を形成するバスケットをキャスク本体内に収納し、使用済み燃料集合体を前記複数の収納空間のそれぞれに収納する使用済み燃料集合体収納方法において、前記複数の収納空間のうちの最外周収納空間を除く複数の中央収納空間のうちの一部の収納空間にMOX使用済み燃料集合体を1体ずつ収納するMOX使用済み燃料集合体収納ステップと、前記複数の収納空間のうちの前記MOX使用済み燃料集合体を収納しない複数の収納空間にウラン使用済み燃料集合体を1体ずつ収納するウラン使用済み燃料集合体収納ステップと、を有し、前記MOX使用済み燃料集合体は所定の原子力発電プラントで生じたものであって、前記ウラン使用済み燃料集合体収納ステップは前記所定の原子力発電プラント以外のプラントで行なわれ、前記MOX使用済み燃料集合体収納ステップは前記ウラン使用済み燃料集合体収納ステップの後に前記所定の原子力発電プラントで行なわれ、当該使用済み燃料集合体収納方法は、前記ウラン使用済み燃料集合体収納ステップの後で前記MOX使用済み燃料集合体収納ステップの前に、前記ウラン使用済み燃料集合体収納ステップで前記ウラン使用済み燃料集合体が収納された状態の前記キャスク本体を前記所定の原子力発電プラントに輸送する輸送ステップを有すること、を特徴とする。

20

【0016】

また、本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法の他の一つの態様は、格子状に配列された複数の収納空間を形成するバスケットを、金属製の胴本体を含むキャスク本体内に収納し、使用済み燃料集合体を前記複数の収納空間のそれぞれに収納する使用済み燃料集合体収納方法において、前記複数の収納空間のうちの最外周収納空間を除く複数の中央収納空間のうちの一部の収納空間にMOX使用済み燃料集合体を1体ずつ収納するMOX使用済み燃料集合体収納ステップと、前記複数の収納空間のうちの前記MOX使用済み燃料集合体を収納しない複数の収納空間に、前記胴本体を構成する金属に比べて、熱伝導率が同等以上であり中性子反射効果が同等以下であり中性子吸収特性が同等以上である中性子吸収除熱体を収納する中性子吸収除熱体収納ステップと、を有し、前記中性子吸収除熱体は、ボロンまたはサマリウムを含有するアルミニウム合金製部材を含むこと、を特徴とする。

30

また、本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法の他の一つの態様は、格子状に配列された複数の収納空間を形成するバスケットを、金属製の胴本体を含むキャスク本体内に収納し、使用済み燃料集合体を前記複数の収納空間のそれぞれに収納する使用済み燃料集合体収納方法において、前記複数の収納空間のうちの最外周収納空間を除く複数の中央収納空間のうちの一部の収納空間にMOX使用済み燃料集合体を1体ずつ収納するMOX使用済み燃料集合体収納ステップと、前記複数の収納空間のうちの前記MOX使用済み燃料集合体を収納しない複数の収納空間に、前記胴本体を構成する金属に比べて、熱伝導率が同等以上であり中性子反射効果が同等以下であり中性子吸収特性が同等以上である中性子吸収除熱体を収納する中性子吸収除熱体収納ステップと、を有し、前記中性子吸収除熱体は、金属製の管の中に耐熱性の中性子吸収材または中性子減速材の少なくとも一方を含む封入物を封入したものであること、を特徴とする。

40

また、本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法の他の一つの態様は、格子状に配列された複数の収納空間を形成するバスケットを、金属製の胴本体を含むキャスク本体内に収

50

納し、使用済み燃料集合体を前記複数の収納空間のそれぞれに収納する使用済み燃料集合体収納方法において、前記複数の収納空間のうちの最外周収納空間を除く複数の中央収納空間のうちの一部の収納空間にMOX使用済み燃料集合体を1体ずつ収納するMOX使用済み燃料集合体収納ステップと、前記複数の収納空間のうちの前記MOX使用済み燃料集合体を収納しない複数の収納空間に、前記胴本体を構成する金属に比べて、熱伝導率が同等以上であり中性子反射効果が同等以下であり中性子吸収特性が同等以上である中性子吸収除熱体を収納する中性子吸収除熱体収納ステップと、を有し、前記MOX使用済み燃料集合体は所定の原子力発電プラントで生じたものであって、前記中性子吸収除熱体収納ステップは前記所定の原子力発電プラントの外部で行なわれ、前記MOX使用済み燃料集合体収納ステップは前記中性子吸収除熱体収納ステップの後に前記所定の原子力発電プラントの内部で行なわれ、前記使用済み燃料集合体収納方法は、前記中性子吸収除熱体収納ステップの後で前記MOX使用済み燃料集合体収納ステップの前に、前記中性子吸収除熱体収納ステップで前記中性子吸収除熱体が収納された状態の前記キャスクを前記所定の原子力発電プラントに輸送する輸送ステップを有すること、を特徴とする。

10

【0017】

また、本発明に係る使用済み燃料集合体収納体の一つの態様は、金属製の胴本体を含むキャスク本体と、前記キャスク本体内に収納されて格子状に配列された複数の収納空間を形成するバスケットと、前記複数の収納空間のうちの最外周収納空間を除く複数の中央収納空間のうちの一部の収納空間に1体ずつ収納されたMOX使用済み燃料集合体と、前記複数の収納空間のうちの前記MOX使用済み燃料集合体を収納しない複数の収納空間に1体ずつ収納された、ウラン使用済み燃料集合体、または、前記胴本体を構成する金属に比べて、熱伝導率が同等以上であり中性子反射効果が同等以下であり中性子吸収特性が同等以上である中性子吸収除熱体と、を有し、前記MOX使用済み燃料集合体が、前記最外周収納空間を除く複数の中央収納空間のうちで互いに隣接しない収納空間のみに収納されていること、を特徴とする。

20

また、本発明に係る使用済み燃料集合体収納体の他の一つの態様は、金属製の胴本体を含むキャスク本体と、前記キャスク本体内に収納されて格子状に配列された複数の収納空間を形成するバスケットと、前記複数の収納空間のうちの最外周収納空間を除く複数の中央収納空間のうちの一部の収納空間に1体ずつ収納されたMOX使用済み燃料集合体と、前記複数の収納空間のうちの前記MOX使用済み燃料集合体を収納しない複数の収納空間に1体ずつ収納された、前記胴本体を構成する金属に比べて、熱伝導率が同等以上であり中性子反射効果が同等以下であり中性子吸収特性が同等以上でありボロンまたはサマリウムを含有するアルミニウム合金製部材を含む中性子吸収除熱体と、を有すること、を特徴とする。

30

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、MOX使用済み燃料をキャスクで輸送貯蔵するさいの中性子遮蔽や除熱効果を増すことができ、従来使用されているキャスクを利用することもできる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

40

【図1】本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第1の実施形態の胴本体およびその内部を示す横断面図である。

【図2】本発明の第1の実施形態におけるキャスクを示す部分切欠き斜視図である。

【図3】本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第1の実施形態の変形例を示す横断面図である。

【図4】本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第2の実施形態の胴本体およびその内部を示す横断面図である。

【図5】図4の中性子吸収除熱体の構造を拡大して示す横断面図である。

【図6】本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第2の実施形態の変形例を示す横断面図である。

50

【図 7】本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第 3 の実施形態の中性子吸収除熱体の構造を拡大して示す横断面図である。

【図 8】本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第 4 の実施形態の中性子吸収除熱体の構造を拡大して示す横断面図である。

【図 9】本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第 5 の実施形態の中性子吸収除熱体の構造を拡大して示す横断面図である。

【図 10】本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第 6 の実施形態の胴本体およびその内部を示す横断面図である。

【図 11】本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第 6 の実施形態の変形例を示す横断面図である。

10

【図 12】本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第 7 の実施形態の胴本体およびその内部を示す横断面図である。

【図 13】本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第 7 の実施形態の変形例を示す横断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下に、図面を参照しながら本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法および使用済み燃料集合体収納体の実施形態について説明する。ここで、互いに同一または類似の部分には共通の符号を付して重複説明は省略する。

【0021】

20

〔第 1 の実施形態〕

図 1 は本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第 1 の実施形態の胴本体およびその内部を示す横断面図である。また、図 2 は、第 1 の実施形態におけるキャスクを示す部分切欠き斜視図である。ただし、図 1 で、バスケット 30 の図示は省略している。

【0022】

この実施形態のキャスク 100 は、たとえば沸騰水型原子炉内で使用した複数の使用済み燃料集合体を収容して輸送および貯蔵に用いるものである。後述する使用済み燃料集合体 40、41 は、複数の燃料棒（図示せず）を正方格子状の束にしたもので、外形はほぼ正四角柱状である。キャスク 100 は、内部にキャビティ 22 が形成されたキャスク本体 16 を有する。このキャスク本体 16 は外周が円柱形の胴本体 21 を備えている。キャビティ 22 内にバスケット 30 が収納されている。バスケット 30 はキャビティ 22 内を正方格子状に区切って複数の収納空間（セル）31 を形成し、各セル 31 ごとに燃料集合体 40、41 を 1 体ずつ挿入することにより燃料集合体 40、41 が正方格子状に互いに間隔をおいて並べられて保持される構造になっている。キャビティ 22 はバスケット 30 の外周形状に合わせて機械加工されている。

30

【0023】

胴本体 21 の底部には円板状の底板 24 が溶接されて密封され、胴本体 21 の上部開口には円板状の一次蓋 10 が取り付けられている。胴本体 21、底板 24 および一次蓋 10 は、ガンマ線遮蔽能を有するし、炭素鋼製またはステンレス鋼製である。また、耐圧容器としての密閉性能を確保するために、一次蓋 10 と胴本体 21 との間には金属ガスケット（図示せず）が配置され、ボルト（図示せず）によって胴本体 21 に、着脱可能に取り付けられている。

40

【0024】

胴本体 21 の外側は間隙を介して外筒 25 で覆われ、胴本体 21 と外筒 25 の間には熱伝導率の高い材料（たとえば銅）からなる内部フィン（図示せず）が放射状に溶接されている。胴本体 21 と外筒 25 で挟まれた間隙にはレジン 26 が充填されている。レジン 26 は、水素を多く含有する高分子材料であって、中性子遮蔽能を有する。レジン 26 は、胴本体 21 と外筒 25 で挟まれた間隙に高温で溶融した状態で注入され、その後、冷却固化したものである。

50

【0025】

一次蓋10の上方には炭素鋼製またはステンレス鋼製で円板状の二次蓋11が配置され、二次蓋11と胴本体21との間には、密閉性を確保するための金属ガスケット（図示せず）が配置され、ボルト（図示せず）によって胴本体21に、着脱可能に取り付けられている。二次蓋11の上面には中性子遮蔽体としてレジン12が封入されている。

【0026】

一次蓋10と二次蓋11で蓋部19が形成され、この蓋部19の周囲にはレジン14を封入した補助遮蔽体15が設けられている。胴本体21の上部から横方向両側に突出してトラニオン17が設けられており、トラニオン17によってキャスク100全体を吊り下げることができるように構成されている。

10

【0027】

第1の実施形態では、キャスク100に収容される燃料集合体は、MOX使用済み燃料集合体40とウラン使用済み燃料集合体41とからなる。図1に示すように、バスケット30によってキャビティ22内に形成された複数の収納空間31のうちのキャビティ22の外周に面する最外周収納空間にはすべてウラン使用済み燃料集合体41が収納される。収納空間31のうちの最外周収納空間以外の中央収納空間それぞれに、MOX使用済み燃料集合体40またはウラン使用済み燃料集合体41のうちのいずれか1体が収納されている。MOX使用済み燃料集合体40同士は互いに隣接せず、一様に分散して配置される。

【0028】

このキャスク100では、縦方向と横方向の収納空間の配列の数は同じであり、使用済み燃料集合体40、41の配置は、中心軸を通る縦方向、横方向および二つの45度傾斜の方向の各対称面に対して対称である。

20

【0029】

この実施形態によれば、中性子発生率の大きなMOX使用済み燃料集合体40と胴本体21内壁との距離は大きくとられ、しかもそれらの放出する中性子線は外周部にあるウラン使用済み燃料集合体41によっても遮蔽される。したがって、外筒25の表面から放射される中性子線量は、バスケット30内に無作為にMOX使用済み燃料集合体40を配置した場合に比べて著しく減衰される。

【0030】

一方、MOX使用済み燃料集合体40の下端部と底板24の内面との距離や、MOX使用済み燃料集合体40の上端部と一次蓋10の内面との距離は変わらず、中性子線量の減衰も変わらない。このため、MOX使用済み燃料集合体40は局在させずに一様に分散するように配置して、底板24、蓋部19の外表面での特定の場所での中性子線量が増大しないようにすることができる。

30

【0031】

図3は、第1の実施形態の使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の変形例を示す横断面図である。この変形例で使用されるキャスクは、従来のBWR使用済み燃料の輸送に用いられているNFT-38B型キャスクと呼ばれるものであって、一つのキャスク内に38体の使用済み燃料集合体を収納するものである。

【0032】

このキャスクでは、縦方向と横方向の収納空間の列の数が異なる。使用済み燃料集合体40、41の配置は、中心軸を通る縦方向および横方向の各対称面に対して対称である。その他の特徴は図1に示す配置と同様である。

40

【0033】

[第2の実施形態]

図4は本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第2の実施形態の胴本体およびその内部を示す横断面図である。図5は図4の中性子吸収除熱体の構造を拡大して示す横断面図である。図2に示す燃料集合体収納体の構造は第1の実施形態と同様である。

【0034】

50

第2の実施形態では、第1の実施形態における最外周部の一部のウラン使用済み燃料の代わりに中性子吸収除熱体1を装荷する。中性子吸収除熱体1は、外寸法と重量が使用済み燃料集合体と略同一であって、中性子吸収を増しかつ除熱効率を向上するものである。

【0035】

中性子吸収除熱体1は、図5に示すように中空の角管2からなり、中性子吸収特性が $1/v$ 吸収体（吸収断面積が中性子速度の逆数に比例する中性子吸収体）であるボロン（B-10）あるいはさらにサマリウム（Sm-149）のような共鳴吸収体を含有しかつ伝熱性を有するアルミニウム合金を用いる。

【0036】

角管2は、アルミニウムのような中性子反射効果の小さい材料を使用することによって、角管2自身によるバスケット30の中央部への中性子反射を低減させる。さらに中性子吸収体はバスケット30から胴本体21へ流出する中性子を吸収するとともに、胴本体21からの散乱中性子を吸収して体系の未臨界増倍中性子を減らす。その結果、外筒25の外表面での中性子線量を低減することができる。

【0037】

図6は、第2の実施形態の使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の変形例を示す横断面図である。この変形例で使用されるキャスクは、前述のNF T-38 B型キャスク（図3参照）である。

【0038】

[第3の実施形態]

図7は本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第3の実施形態における中性子吸収除熱体の構造を拡大して示す横断面図である。この実施形態は第2の実施形態（図4、図5）の変形である。

【0039】

この第3の実施形態では、中性子吸収除熱体1は、角管2内に、ボロンカーバイドのような耐熱性の中性子吸収材、あるいはカーボンやシリコンカーバイドのような中性子減速材、あるいはこれらの混合材からなる封入物3を封入する。その他の構成は第2の実施形態と同様である。

【0040】

第3の実施形態によれば、第2の実施形態の効果が得られるとともに、さらに中性子吸収効果が増す。

【0041】

[第4の実施形態]

図8は本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第4の実施形態における中性子吸収除熱体の構造を拡大して示す横断面図である。この実施形態は第2の実施形態（図4、図5）の変形である。

【0042】

この第4の実施形態では、中性子吸収除熱体1として、第2の実施形態と同様のアルミニウム合金の角管2の外表面を、肉厚の薄いステンレス鋼からなる被覆材4で覆っている。その他の構成は第2の実施形態と同様である。

【0043】

第4の実施形態によれば、第2の実施形態の効果が得られるとともに、アルミニウム合金の角管2を保護することができる。

【0044】

[第5の実施形態]

図9は本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第5の実施形態における中性子吸収除熱体の構造を拡大して示す横断面図である。この実施形態は第4の実施形態（図8）の変形である。

【0045】

この第5の実施形態では、中性子吸収除熱体1として、第4の実施形態と同様のアルミ

10

20

30

40

50

ニウム合金の角管 2 の外表面を、肉厚の薄いステンレス鋼からなる被覆材 4 で覆っている。そして、角管 2 の内部に、第 3 の実施形態（図 7）と同様に、ボロンカーバイドのような耐熱性の中性子吸収材、あるいはカーボンやシリコンカーバイドのような中性子減速材、あるいはこれらの混合材からなる封入物 3 が封入されている。その他の構成は第 4 の実施形態と同様である。

【0046】

第 5 の実施形態によれば、第 2 の実施形態の効果が得られるとともに、さらに中性子吸収効果が増す。

【0047】

[第 6 の実施形態]

図 10 は本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第 6 の実施形態の胴本体およびその内部を示す横断面図である。

【0048】

この実施形態は第 2 の実施形態（図 4、図 5）の変形であって、最外周収納空間にはすべて中性子吸収除熱体 1 が収納されている。中央収納空間には、中性子吸収除熱体 1 と MOX 使用済み燃料集合体 40 とウラン使用済み燃料集合体 41 とが収納されている。MOX 使用済み燃料集合体 40 は互いに隣接せず、一様に分散して配置される。図 10 に示す例では、MOX 使用済み燃料集合体 40 は 16 体収納されており、第 2 の実施形態（図 4）の場合の MOX 使用済み燃料集合体 40 の数（14 体）よりも多くなっている。なお、この実施形態における中性子吸収除熱体 1 の構造は、第 2 ないし第 5 の実施形態における中性子吸収除熱体 1（図 5、図 7 ないし図 9）のいずれのものでもよい。

【0049】

図 11 は、第 6 の実施形態の使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の変形例を示す横断面図である。この変形例で使用されるキャスクは、前述の NF T-38B 型キャスク（図 3 参照）である。この変形例では、MOX 使用済み燃料集合体 40、ウラン使用済み燃料集合体 41 および中性子吸収除熱体 1 の配置は図 10 の例に類似しているが、縦と横の列の数が相違する。図 11 に示す例では、縦・横方向には非対称であり、中心軸周りに軸対称となっている。

【0050】

[第 7 の実施形態]

図 12 は本発明に係る使用済み燃料集合体収納方法における使用済み燃料集合体収納体の第 7 の実施形態の胴本体およびその内部を示す横断面図である。

【0051】

この実施形態は第 6 の実施形態（図 10）の変形であって、第 6 の実施形態においてウラン使用済み燃料集合体 41 を収納した収納空間のすべてに、ウラン使用済み燃料集合体 41 に代えて中性子吸収除熱体 1 を収納する。したがって、キャスク 100 のキャビティ 22 内の収納空間には、ウラン使用済み燃料集合体 41 を全く収納せず、MOX 使用済み燃料集合体 40 と中性子吸収除熱体 1 のみを収納する。すべての最外周収納空間には中性子吸収除熱体 1 が収納される。そして、中央収納空間には MOX 使用済み燃料集合体 40 と中性子吸収除熱体 1 が収納され、MOX 使用済み燃料集合体 40 同士が隣接せず、分散して配置される。

【0052】

[他の実施形態]

以上説明した各実施形態は単なる例示であって、本発明はこれらに限定されるものではない。たとえば、各実施形態の特徴を種々に組み合わせることもできる。さらに具体的な例としては、第 6 または第 7 の実施形態（図 10 ないし図 13）の中性子吸収除熱体 1 の構造としては、第 2 ないし第 5 の実施形態の中性子吸収除熱体 1（図 5 および図 7 ないし図 9）のいずれのものを採用してもよい。

【0053】

また、上記実施形態の説明では、キャスク 100 のバスケット 30 によって区分された

10

20

30

40

50

収納空間にMOX使用済み燃料集合体40を収納するとともに、ウラン使用済み燃料集合体41および中性子吸収除熱体1の両方または一方を収納するものとした。

【0054】

原子力発電所プラントにおいて、その全ての燃料集合体をMOX燃料とするプラントもありうる。そのようなプラントでは、ウラン使用済み燃料集合体41が発生しないので、ウラン使用済み燃料集合体41をキャスク100に収納する作業を行なうことはできない。その場合にそのプラントで生じたMOX使用済み燃料集合体40を輸送・貯蔵する方法としては、そのプラント以外のプラントであらかじめMOX使用済み燃料集合体40以外のウラン使用済み燃料集合体41などをキャスク100に収納し、そのキャスク100を、MOX使用済み燃料集合体40が発生する原子力発電所プラントに輸送し、当該プラントの使用済み燃料プールにおいて、MOX使用済み燃料集合体40を収納することが有効である。

10

【0055】

また、全ての燃料集合体をMOX燃料とするプラント以外であっても、同一の原子力発電所の他のプラントのウラン使用済み燃料集合体41と組み合わせた方がより、中性子遮蔽や除熱効果が大きい場合や、あるいは同一プラント内にウラン使用済み燃料集合体41がないか、あるいは、適切な中性子遮蔽や除熱効果が得られるウラン使用済み燃料集合体40がない場合もある。そのような場合には、同一の発電所内においても、MOX使用済み燃料集合体40以外のウラン使用済み燃料集合体41などをあらかじめ収納し、MOX使用済み燃料集合体40を生成するプラントに輸送し、当該プラントの使用済み燃料プールにおいて、MOX使用済み燃料集合体40を収納することが、使用済み燃料集合体の輸送・貯蔵方法として有効である。

20

【0056】

このように、ウラン使用済み燃料集合体41をキャスクに収納して他の原子力発電所または同一の原子力発電所の他プラントに輸送して、その輸送先のプラントで生成されたMOX使用済み燃料集合体を同じキャスク内に収納するという運用により、一つまたは複数の原子力発電所の複数のプラントに保管するMOX使用済み燃料集合体とウラン使用済み燃料集合体の体数の適切な分配のバランスを図るうえでも有効である。

【0057】

なお、これらのMOX使用済み燃料集合体を収納する前のウラン使用済み燃料集合体のみの輸送においては、キャスクのバスケット内の使用済み燃料集合体の配置は上記実施形態として説明した配置である必要はなく、従来技術によることができる。

30

【0058】

以上の実施形態の説明では、BWR燃料集合体を収納するキャスクを例にとって説明したが、PWR燃料集合体を収納するキャスクにも適用できる。

【符号の説明】

【0059】

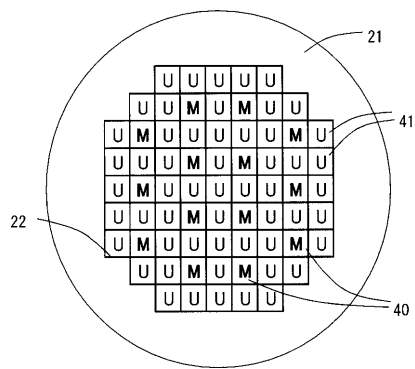
- 1…中性子吸収除熱体
- 2…角管
- 3…封入物
- 4…被覆材
- 10…一次蓋
- 11…二次蓋
- 12、14…レジン
- 15…補助遮蔽体
- 16…キャスク本体
- 17…トラニオン
- 19…蓋部
- 21…胴本体、
- 22…キャビティ

40

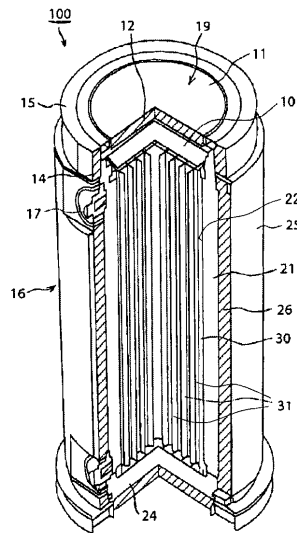
50

- 2 4 …底板
- 2 5 …外筒
- 2 6 …レジン
- 3 0 …バスケット
- 3 1 …収納空間（セル）
- 4 0 …MOX使用済み燃料集合体
- 4 1 …ウラン使用済み燃料集合体
- 1 0 0 …キャスク

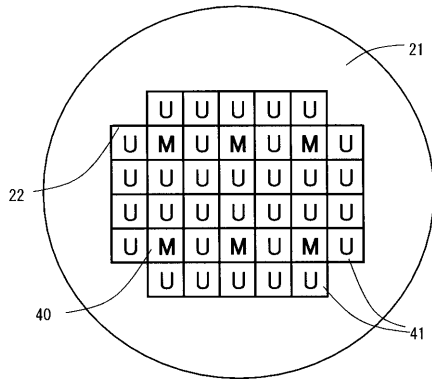
【図 1】



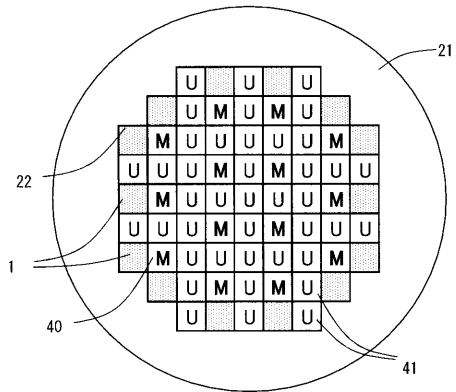
【図 2】



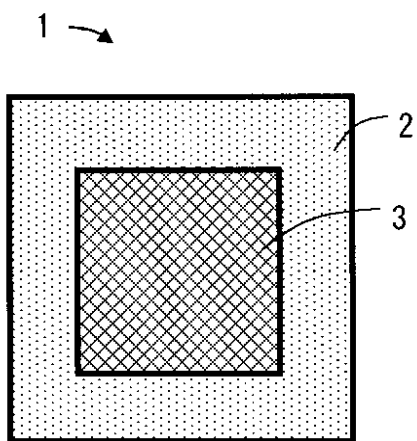
【図 3】



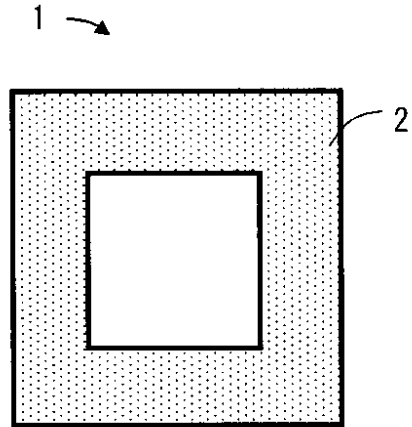
【図 4】



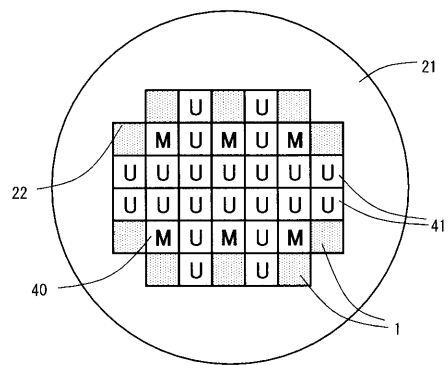
【図 7】



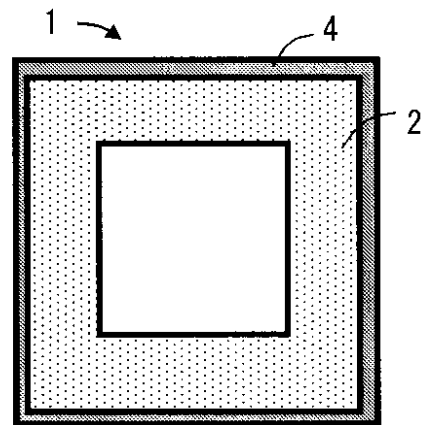
【図 5】



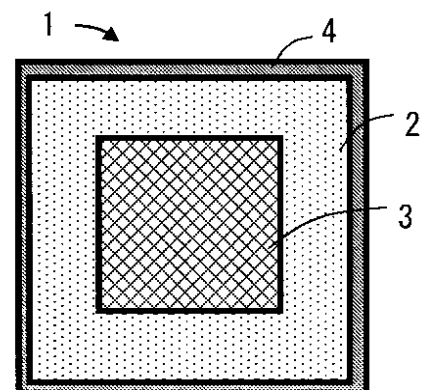
【図 6】



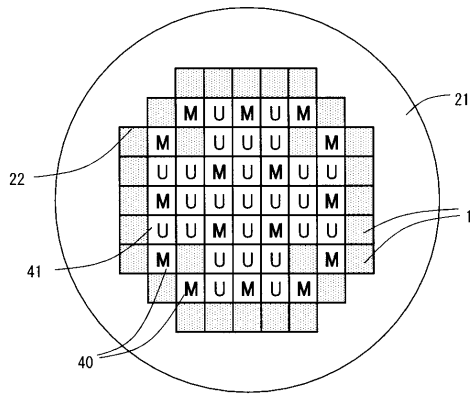
【図 8】



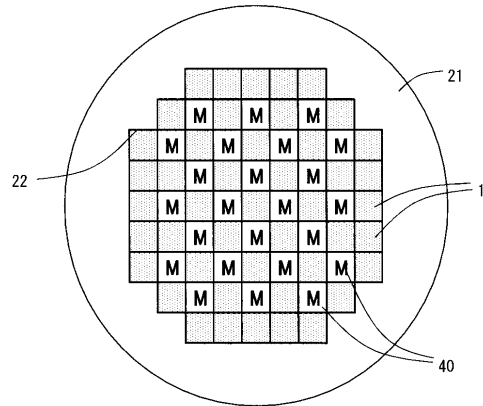
【図 9】



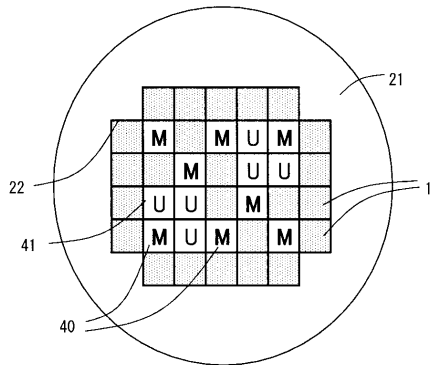
【図 10】



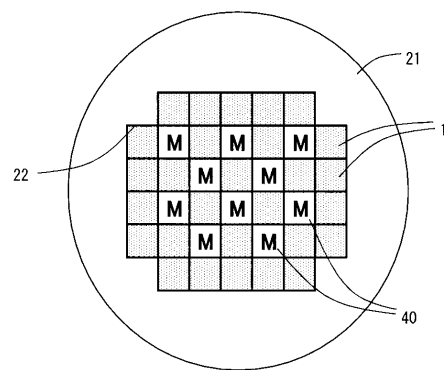
【図 12】



【図 11】



【図 13】



フロントページの続き

(72)発明者 菅原 聡
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 村川 雄一

(56)参考文献 特開平07-260991 (JP, A)
特開平02-176498 (JP, A)
実開昭61-140999 (JP, U)
特開2001-074884 (JP, A)
実開昭61-089200 (JP, U)
特開2005-009960 (JP, A)
特開2006-113059 (JP, A)
特開2001-083287 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G21C 19/32
G21F 5/10
G21F 9/36