

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6021664号
(P6021664)

(45) 発行日 平成28年11月9日(2016.11.9)

(24) 登録日 平成28年10月14日(2016.10.14)

(51) Int.Cl.		F 1			
G 2 1 C	17/06	(2006.01)	G 2 1 C	17/06	F
G 2 1 C	19/40	(2006.01)	G 2 1 C	19/40	A

請求項の数 12 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2013-15501 (P2013-15501)	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成25年1月30日 (2013.1.30)		株式会社東芝
(65) 公開番号	特開2014-145720 (P2014-145720A)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43) 公開日	平成26年8月14日 (2014.8.14)	(74) 代理人	110001092
審査請求日	平成27年7月22日 (2015.7.22)		特許業務法人サクラ国際特許事務所
		(72) 発明者	大島 朋美
			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	内藤 晋
			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	泉 幹雄
			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】 未臨界度測定装置および未臨界維持システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

収納容器内に内包される核燃料物質および媒体からなる核燃料物質体系の実効増倍率を測定する未臨界度測定装置であって、

前記収納容器内に配設され前記媒体を排除する中空管と、

前記収納容器の外側であって前記中空管の一端近傍に配されて前記収納容器内の核燃料物質体系に前記中空管を経由して中性子を供給する中性子源と、

前記収納容器内の核燃料物質体系からの中性子を検出する一つまたは複数の放射線検出器と、

前記放射線検出器の出力に基づいて実効増倍率を算出する実効増倍率算出部と、
を備えることを特徴とする未臨界度測定装置。

10

【請求項2】

前記中空管は、前記一端は前記収納容器の内壁に近接し、前記一端と反対側の反対端とこれに対向する前記収納容器の内壁間は前記中性子源から発生した中性子の前記放射線検出器への直接の寄与を無視できる十分な距離が確保される位置にある、

ことを特徴とする請求項1に記載の未臨界度測定装置。

【請求項3】

前記中空管は、密閉されており、気体が封じ込められていることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の未臨界度測定装置。

【請求項4】

20

前記中空管は、複数あって互いに異なる位置に配設されていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 3 のいずれか一項に記載の未臨界度測定装置

【請求項 5】

前記中性子源は複数あり、互いに異なる位置に配設されていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 4 のいずれか一項に記載の未臨界度測定装置。

【請求項 6】

前記中性子源が中性子を供給すべき複数の位置に前記中性子源を移動させる中性子源駆動部をさらに備えていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 5 のいずれか一項に記載の未臨界度測定装置。

【請求項 7】

前記放射線検出器は、第 1 の放射線検出器と第 2 の放射線検出器を有し、
前記第 1 の放射線検出器の出力から前記第 2 の放射線検出器の出力を減じた差分を算出する差分演算部をさらに備える、

ことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 6 のいずれか一項に記載の未臨界度測定装置。

【請求項 8】

前記第 1 の放射線検出器は中性子検出器であり、前記第 2 の放射線検出器はガンマ線検出器であることを特徴とする請求項 7 に記載の未臨界度測定装置。

【請求項 9】

警報用信号を受けて警報を発報する警報装置をさらに備えて、

前記実効増倍率算出部は、算出した実効増倍率が所定の警報用設定値以上となった場合に前記警報装置に前記警報用信号を発する、

ことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 8 のいずれか一項に記載の未臨界度測定装置。

【請求項 10】

前記収納容器には、前記収納容器内の核燃料物質体系の未臨界状態維持のための安全系システムが備えられ、

前記安全系システムは、中性子吸収材収納容器および前記中性子吸収材収納容器から前記収納容器への流路上に設けられた中性子吸収材供給弁を有し、

前記実効増倍率算出部は、算出した実効増倍率が所定の安全動作設定値以上となった場合に前記安全系システムに安全動作指令信号を出力する、

ことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 9 のいずれか一項に記載の未臨界度測定装置。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の未臨界度測定装置と、前記収納容器と、前記安全系システムとを備えたことを特徴とする未臨界維持システム。

【請求項 12】

前記安全系システムは、

中性子吸収材を収納する中性子吸収材収納容器と、

前記中性子吸収材収納容器内の中性子吸収材を前記収納容器内に供給する中性子吸収材供給弁と、

を有し、

前記中性子吸収材供給弁は、前記安全動作指令信号を受けて開動作を行うことを特徴とする請求項 11 に記載の未臨界維持システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、容器内に内包された核燃料物質体系の未臨界度測定装置および未臨界維持システムに関する。

【背景技術】

【0002】

核燃料取り扱い技術では、いかなる状況でも意図せずに臨界に達することがないように核燃料の臨界安全管理をしなければならない。臨界とは、中性子実効増倍率 $k_{eff} = 1$

10

20

30

40

50

の場合であり、 $k_{eff} < 1$ の場合には未臨界状態である。臨界 ($k_{eff} = 1$) までの裕度を示す未臨界度を測定することにより、より安全な臨界安全管理が可能となる。

【0003】

未臨界度を測定する手法の一つとして、外部中性子源増倍法がある。この手法は、外部中性子源強度が一定である場合において、中性子検出器の応答が実効増倍率 (k_{eff}) に依存することを利用して、計数率から未臨界度を求める方法である。この外部中性子源増倍法は、測定システムが非常に簡単で応答性も優れている。

【0004】

従来技術として、核燃料輸送容器内、貯蔵施設内および処理施設内などの核燃料を取り扱う体系における未臨界度の監視技術が提案されている。BWRの場合、測定対象である使用済燃料貯蔵ラックにおける検出位置での中性子束は、たとえば約 2.4×10^4 ($n/cm^2/s$) である。

10

【0005】

この値は測定のためには十分な値であるが、体系内の中性子の減衰を考慮していないので、中性子の減衰が大きい体系では、適用できない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2007-121156号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

外部中性子源増倍法を用いた未臨界度測定においては、操作性・保守性・メンテナンス性の観点から、測定対象(タンク等)の外部に中性子源と検出器を設置することが望ましい。

【0008】

しかしながら、測定対象(タンク等)の容積が大きい場合、中性子の吸収が大きいため、容器外表面まで漏れ出す中性子束は小さくなり、そのため、測定に必要な計数率を得られない。

【0009】

30

そこで、本発明の実施形態は、大きな容積を持つ容器内に内包された核燃料物質体系に対しても、未臨界度測定ができるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上述の目的を達成するため、本発明の実施形態は、収納容器内に内包される核燃料物質および媒体からなる核燃料物質体系の実効増倍率を測定する未臨界度測定装置であって、前記収納容器内に配設され前記媒体を排除する中空管と、前記収納容器の外側であって前記中空管の一端近傍に配されて前記収納容器内の核燃料物質体系に前記中空管を經由して中性子を供給する中性子源と、前記収納容器内の核燃料物質体系からの中性子を検出する一つまたは複数の放射線検出器と、前記放射線検出器の出力に基づいて実効増倍率を算出する実効増倍率算出部と、を備えることを特徴とする。

40

【発明の効果】

【0011】

本発明の実施形態によれば、大きな容積を持つ容器内に内包された核燃料物質体系に対しても、未臨界度を測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る未臨界度測定装置の構成を示す立断面図である。

【図2】本発明の第2の実施形態に係る未臨界度測定装置および未臨界度維持システムの構成を示す立断面図である。

50

【図3】本発明の第3の実施形態に係る未臨界度測定装置および未臨界度維持システムの構成を示す立断面図である。

【図4】本発明の第3の実施形態に係る未臨界度測定装置および未臨界度維持システムの変形例の構成を示す立断面図である。

【図5】本発明の第4の実施形態に係る未臨界度測定装置および未臨界度維持システムの構成を示す立断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、図面を参照して本発明の実施形態に係る未臨界度測定装置について説明する。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。

10

【0014】

[第1の実施形態]

図1は、本発明の第1の実施形態に係る未臨界度測定装置の構成を示す立断面図である。

【0015】

未臨界度測定装置20は、収納容器1内に内包される核燃料物質および水あるいは化学物質の水溶液などの媒体からなる核燃料物質体系の実効増倍率を測定するために設けられる。未臨界度測定装置20は、中空管6、中性子源2、中性子検出器4および実効増倍率算出部11を有する。

20

【0016】

中空管6は、直線的に水平に延びる円管であり、収納容器1内に配されている。中空管6は、収納容器1内の媒体を排除するためにその内部を密閉するように形成されている。なお、中空管6は、密閉であるものに限定されない。収納容器1内の媒体を排除するものであれば、たとえば、媒体とその上部の気体との界面よりも高い位置に開放部があるようなものでもよい。

【0017】

中空管6は、収納容器1のほぼ中央の高さに配設されている。中空管6の一端は、収納容器1の内壁に近接している。中性子源2は、収納容器1の外側であって、この中空管6の一端近傍に配設されている。中性子源2は、中空管6の内部の空間を介して収納容器1内に中性子を供給する。

30

【0018】

なお、中空管6は、水平であることに限定されない。核燃料物質体系における核燃料物質の分布の中央、すなわち、中性子を注入することの効果が大いと考えられる部分に届いていることが目的であり、この目的にかなうのであれば、斜め、あるいは、上下でもよい。

【0019】

中性子源2からの中性子の減衰をできるだけ抑制するために、収納容器1の内壁と中空管6の一端の間に存在する媒体は、できるだけ少ないことが望ましい。中空管6の前記の一端と反対側の反対端は、収納容器1の水平断面のほぼ中央まで延びている。

40

【0020】

中性子検出器4は、中性子源2で発生する中性子が注入される核燃料物質の体系内の反応により生ずる中性子を計測する。中性子検出器4は、中空管6とほぼ同じ高さの位置の収納容器1の側面に取り付けられている。

【0021】

なお、中性子検出器4の取り付け位置は収納容器1の側壁には限定されず、収納容器1内の核燃料物質体系からの中性子の計測効率を確保できる位置であって、中性子源2で発生した中性子が直接には及ばない位置であれば、たとえば、収納容器1の上面でもよい。

【0022】

また、中性子検出器4の設置位置は、収納容器1の外側にも限定されない。収納容器1内の核燃料物質体系からの中性子の計測効率を確保でき、特に問題がなければ、たとえば

50

、収納容器 1 内にウェルを挿入し、このウェル内に配してもよい。

【 0 0 2 3 】

ただし、中性子検出器 4 は、核燃料物質の体系内の反応により生ずる中性子を計測するものであり、中性子源 2 で発生した中性子による中性子検出器 4 への直接の寄与を無視できるような位置であることが必要である。

【 0 0 2 4 】

中性子源 2 で発生した中性子の中性子検出器 4 への直接の寄与を無視できるような位置であることの条件は、中性子検出器 4 が収納容器 1 の外側に設けられている場合も同様である。すなわち、中空管 6 の反対端と収納容器 1 の内壁との間は、中性子源 2 から発生した中性子の中性子検出器 4 への直接の寄与を無視できるような十分な距離を有するように設定されている。

10

【 0 0 2 5 】

実効増倍率算出部 1 1 は、中性子検出器 4 の出力に基づいて、計数率と実効増倍率 k_{eff} との関係を表す式 (1) に基づいて実効増倍率を算出する。

$$k_{eff} = 1 - S / C \quad (1)$$

ただし、 k_{eff} は核物質体系内の核燃料物質の質量に依存した比例定数、 S は中性子源の強度 (n / sec)、 C は中性子の計数率 ($count / sec$) を表す。

【 0 0 2 6 】

なお、式 (1) が示すように、臨界に近づく、すなわち k_{eff} が小さい値から増加して 1 に近づく、計数率 C は増加する。比例定数 k_{eff} については、対象とする収納容器 1 内の核燃料物質体系における核燃料物質の質量との関係を、たとえばモンテカルロシミュレーションで算出しておく。

20

【 0 0 2 7 】

以上のように構成された本実施形態においては、中性子源 2 で発生した中性子は、中空管 6 内を通過して収納容器 1 内に注入される。

【 0 0 2 8 】

たとえば、核燃料物質が収納容器 1 内に均等に分布せずに、核燃料が溶融した後に固まった燃料デブリのような形態で収納容器 1 内の一部の箇所偏在しているような場合を考える。

【 0 0 2 9 】

この場合に、中空管 6 が無い場合、中性子源 2 で発生した中性子は、燃料デブリが存在する場所に到達する前にその周囲の媒体によって減衰し、十分な量の中性子が燃料デブリに到達しない。このため、燃料デブリを中心とする体系での中性子の反応量が少なく、この体系から発生する中性子も少なくなる。このために十分な中性子計測ができない。

30

【 0 0 3 0 】

一方、本実施形態による未臨界度測定装置 2 0 においては、中性子源 2 で発生した中性子のうち十分な量の中性子が燃料デブリに到達する。この結果、中性子の反応量が増大し、中性子検出器 4 によって計測される中性子の量が十分確保される。

【 0 0 3 1 】

以上のように、本実施形態の未臨界度測定装置 2 0 によれば、大きな容積を持つ収納容器 1 内に内包された核燃料物質体系に対しても、未臨界度を測定することができる。

40

【 0 0 3 2 】

[第 2 の実施形態]

図 2 は、本発明の第 2 の実施形態に係る未臨界度測定装置および未臨界度維持システムの構成を示す立断面図である。未臨界度維持システム 3 0 は、収納容器 1、未臨界度測定装置 2 0 および安全装置 1 6 を有する。未臨界度測定装置 2 0 は、第 1 の実施形態の変形である。

【 0 0 3 3 】

安全装置 1 6 は、中性子吸収材収納容器 1 6 a および中性子吸収材供給弁 1 6 b を有する。中性子吸収材収納容器 1 6 a は、収納容器 1 内の核燃料物質体系に注入する中性子吸

50

収材を収納する。中性子吸収材供給弁 16 b は、通常時は閉状態であり、未臨界度測定装置 20 からの開指令信号を受けて開となり、中性子吸収材収納容器 16 a 内の中性子吸収材を収納容器 1 内に導入する。

【0034】

未臨界度測定装置 20 は、設定値入力部 13 および警報装置 14 をさらに有する。実効増倍率算出部 11 は、算出した実効増倍率 k_{eff} の値が、警報設定値を超えると警報装置 14 に、実効増倍率 k_{eff} の値が警報設定値を超えた旨の警報用信号を発する。警報装置 14 は、警報用信号を受けて警報を発する。

【0035】

実効増倍率算出部 11 は、算出した実効増倍率 k_{eff} の値が開動作指令信号の設定値を超えると、安全装置 16 の中性子吸収材供給弁 16 b に開動作指令信号を発する。開動作指令信号を受けて中性子吸収材供給弁 16 b は開状態となる。

10

【0036】

開動作指令信号の設定値としての k_{eff} の値は、1 に対して余裕のある値、たとえば 0.8 に設定される。また、警報設定値としての k_{eff} の値は、開動作指令信号の設定値と同じ値とする。なお、警報設定値としての k_{eff} の値は開動作指令信号の設定値と同じ値には限定されない。たとえば、開動作指令信号の設定値に余裕を見て、これより低い値としてもよい。

【0037】

以上のように構成された本実施形態による未臨界度測定装置および未臨界度維持システムにおいては、臨界に近づく前に、危険を知らせまた安全系を動作させることによって、臨界を阻止し、作業者の被ばく等の人的危険性を回避することができる。

20

【0038】

[第3の実施形態]

図3は、本発明の第3の実施形態に係る未臨界度測定装置および未臨界度維持システムの構成を示す立断面図である。本実施形態は、第2の実施形態の変形である。

【0039】

収納容器 1 内には、中空管 6 a、中空管 6 b および中空管 6 c が配設されている。中空管 6 a、中空管 6 b および中空管 6 c は、収納容器 1 の高さ方向に互いに間隔をもって水平に、かつ互いに平行に配設されている。中空管 6 a、中空管 6 b および中空管 6 c の収納容器 1 に近接したそれぞれの一端は、上下方向に一直線をなす位置にある。

30

【0040】

また、中性子検出器 4 a、中性子検出器 4 b および中性子検出器 4 c が、それぞれ中空管 6 a、中空管 6 b および中空管 6 c の高さとはほぼ同じ高さに配設されている。

【0041】

本実施形態においては、中性子源 2 を上下に駆動する中性子源駆動部 3 a および中性子源 2 を収納し上下方向にガイドするガイド部 3 b を有する。中性子源 2 は、中空管 6 a、6 b、6 c のそれぞれの一端に近接した収納容器 1 の外側を上下に移動可能である。中性子源 2 の上下の移動は中性子源駆動部 3 a によってなされ、中性子源 2 はガイド部 3 b 内を移動する。

40

【0042】

なお、本実施形態では、中空管が3本、中性子検出器が3台の場合を示しているが、これに限定されない。収納容器 1 の大きさによって、また、収納容器 1 内における核燃料物質体系中の核燃料物質が偏在しているか否か等の要因を考慮して、必要な数を設けることでよい。

【0043】

また、本実施形態では、中空管 6 a、6 b、6 c が上下に並んでいる場合を示したが、これに限定されない。たとえば、水平方向に広い収納容器 1 の場合は、中空管 6 a、6 b、6 c を水平方向に並べてもよい。あるいは、収納容器 1 がさらに大きな場合には、中空管 6 a、6 b、6 c を水平向および高さ方向に並べてもよい。この場合、中性子源 2 の移

50

動は、これらの中空管に沿って移動できるような構成とすればよい。

【0044】

実効増倍率算出部11は、中性子検出器4aからの出力に基づき、式(1)によって k_{eff} を算出する。実効増倍率算出部11は、同様に、中性子検出器4bおよび中性子検出器4cのそれぞれについても k_{eff} を算出する。実効増倍率算出部11は、算出したそれぞれの k_{eff} の中から最大の値を実効増倍率の算出結果として出力する。

【0045】

核燃料物質が底部に堆積している場合など、収納容器1内の核燃料物質の分布が一様でない場合においては、中空管6a、6b、6cを通過した後の中性子の減衰は、それぞれ異なり位置依存性がある。したがって、収納容器1内での核燃料物質の堆積状態の違いにより、複数の中性子検出器4a、4b、4cで得られる計数率が異なる。実効増倍率算出部11では最も臨界に近い実効増倍率を算出結果として安全側の管理を行う。

10

【0046】

以上のように、収納容器1内の核燃料物質の分布が一様でない場合においても収納容器1内の核燃料物質体系の未臨界度を測定することができる。

【0047】

図4は、本発明の第3の実施形態に係る未臨界度測定装置および未臨界度維持システムの変形例の構成を示す立断面図である。

【0048】

第3の実施形態では、中性子源2を移動する方式を示したが、これに限定されない。図4に示すように、たとえばそれぞれの中空管6a、6b、6cに対応して、中性子源2a、中性子源2b、中性子源2cを個別に設けることでもよい。

20

【0049】

収納容器1内に核燃料物質を含む媒質が流入してくるような体系で、かつ、流入する媒質内の各燃料物質の含有量が時間によって大きく変化するような場合は、収納容器1内の各燃料物質の分布に偏りが生ずることが考えられる。このような場合にも、中性子源を個別に設けることによって、収納容器1内の各燃料物質体系の実効増倍率の変化を迅速に把握することができる。

【0050】

[第4の実施形態]

30

図5は、本発明の第4の実施形態に係る未臨界度測定装置および未臨界度維持システムの構成を示す立断面図である。本実施形態は、第2の実施形態の変形である。未臨界度測定装置20は、ガンマ線検出器5および差分演算部12をさらに有する。

【0051】

ガンマ線検出器5は、中性子検出器4の設置場所の近傍に設けられる。差分演算部12は、中性子検出器4の出力およびガンマ線検出器5の出力を受けて、中性子検出器4の出力値からガンマ線検出器5の出力値を減じて正味の中性子計数を出力する。なお、中性子検出器4およびガンマ線検出器5は、両者の感度が同レベルとなるように事前に感度の校正がなされている。

【0052】

40

中性子検出器4は、中性子を測定するための検出器であるが、原理的にガンマ線にも有感であるため、中性子検出を目的とする観点からは、ガンマ線の計数が中性子の計測上はノイズとなる。

【0053】

本実施形態では、中性子検出器4で得た中性子計数とガンマ線検出器5で得たガンマ線計数から、差分演算部12で正味の中性子計数を算出することにより精度よく式(1)のCを求めることができる。この結果、実効増倍率 k_{eff} を精度よく算出することができる。

【0054】

[その他の実施形態]

50

以上、本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。たとえば、中空管は、長手方向に口径が一定な管でなく口径が変化するものであってもよい。

【0055】

あるいは、管でなくとも、媒体を排除し、かつ、収納容器1の収納容量にインパクトを与えなければ、容器形状でもよい。

【0056】

また、各実施形態の特徴を組み合わせてもよい。たとえば、第3の実施形態で追加された特徴である複数の中空管を設ける点と、第4の実施形態で追加された特徴である中性子検出器とガンマ線検出器を設ける点を組み合わせてもよい。

10

【0057】

あるいは、第1の実施形態に第3の実施形態で追加された特徴である複数の中空管を設ける点を組み合わせてもよい。また、第1の実施形態に第4の実施形態で追加された特徴である中性子検出器とガンマ線検出器を設ける点を組み合わせてもよい。

【0058】

さらに、これらの実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。

【0059】

これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

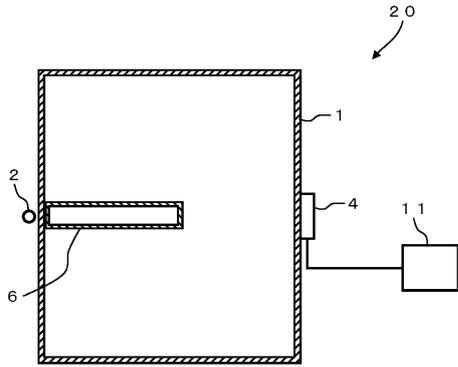
20

【符号の説明】

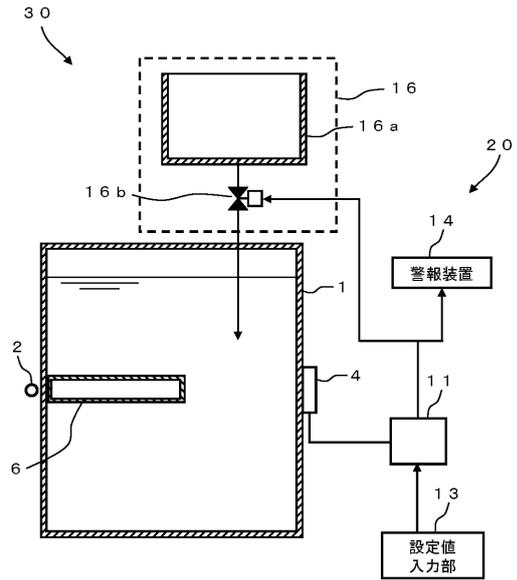
【0060】

1... 収納容器、2、2 a、2 b、2 c... 中性子源、3 a... 中性子源駆動部、3 b... ガイド部、4、4 a、4 b、4 c... 中性子検出器、5... ガンマ線検出器、6、6 a、6 b、6 c... 中空管、11... 実効増倍率算出部、12... 差分演算部、13... 設定値入力部、14... 警報装置、16... 安全装置（安全系システム）、16 a... 中性子吸収材収納容器、16 b... 中性子吸収材供給弁、20... 未臨界度測定装置、30... 未臨界度維持システム

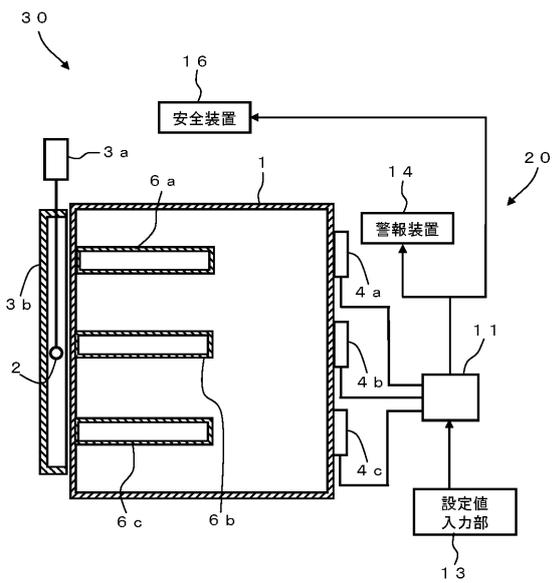
【図1】



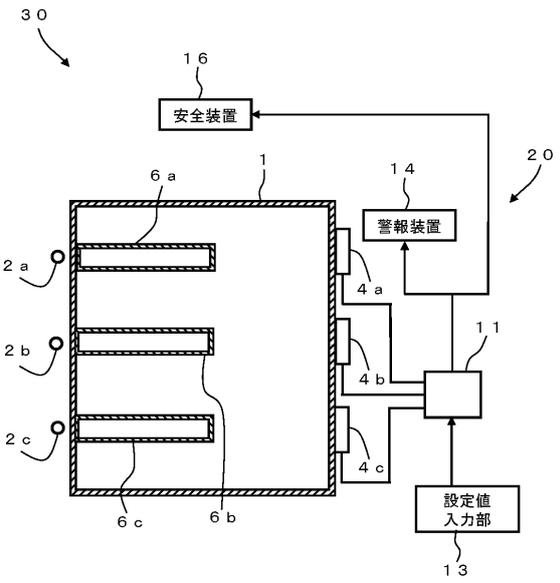
【図2】



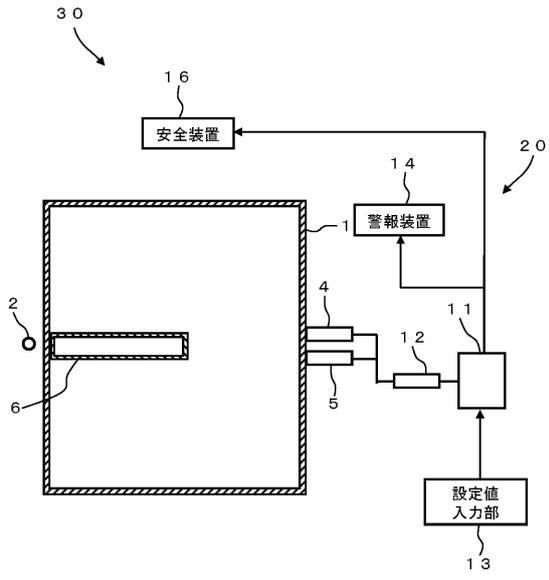
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 小野寺 徹
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 青木 洋平

(56)参考文献 特開平10-010262(JP,A)
特開2001-147289(JP,A)
特開2013-003001(JP,A)
特開2007-263783(JP,A)
特開2008-175732(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G21C 17/06
G21C 19/40