

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6232051号
(P6232051)

(45) 発行日 平成29年11月15日(2017.11.15)

(24) 登録日 平成29年10月27日(2017.10.27)

(51) Int.Cl.

F 1

G21C 15/02	(2006.01)	G 21 C	15/02	Z
G21D 1/00	(2006.01)	G 21 D	1/00	S
F22B 1/16	(2006.01)	G 21 D	1/00	F
		G 21 C	15/02	S
		F 22 B	1/16	A

請求項の数 42 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2015-509152 (P2015-509152)
 (86) (22) 出願日 平成25年4月25日 (2013.4.25)
 (65) 公表番号 特表2015-521278 (P2015-521278A)
 (43) 公表日 平成27年7月27日 (2015.7.27)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2013/038289
 (87) 國際公開番号 WO2013/163475
 (87) 國際公開日 平成25年10月31日 (2013.10.31)
 審査請求日 平成26年12月24日 (2014.12.24)
 (31) 優先権主張番号 61/638,257
 (32) 優先日 平成24年4月25日 (2012.4.25)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

前置審査

(73) 特許権者 514272173
 エスエムアール・インベンテック・エルエルシー
 アメリカ合衆国、ニュージャージー・08053、マールトン、ワン・ホルテック・ドライブ
 (74) 代理人 100114188
 弁理士 小野 誠
 (74) 代理人 100119253
 弁理士 金山 賢教
 (74) 代理人 100124855
 弁理士 坪倉 道明
 (74) 代理人 100129713
 弁理士 重森 一輝

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】原子力蒸気供給システム及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内部空洞を形成する第1シェルを備えた縦方向に細長い原子炉容器と、前記内部空洞内に配置された核燃料を備えた原子炉炉心と、

第2シェルおよび垂直積層関係に配置された複数の熱交換器部を備えた蒸気発生容器であって、前記蒸気発生容器の前記第2シェルが前記原子炉容器の前記第1シェルとは別個に形成され、流体継手を介して前記原子炉容器の前記第1シェルと一体に流体接続された、前記蒸気発生容器と、

前記原子炉容器と前記蒸気発生容器との間に形成された閉ループ一次冷却材システムであって、前記原子炉容器中を流れて前記原子炉炉心を冷却すると共に、前記蒸気発生容器中を流れて熱を、前記蒸気発生容器中を流れる二次冷却材に伝達する、一次冷却材を有する前記閉ループ一次冷却材システムと、
を備え、

前記原子炉容器は、第1出口ノズルと、前記第1出口ノズルと同心状に整列した第1入口ノズルとを含み、

前記蒸気発生容器は、第2出口ノズルと、前記第2出口ノズルと同心状に整列した第2入口ノズルとを含み、

前記原子炉容器の前記第1出口ノズルは、前記第1入口ノズル内に配置され、かつ前記蒸気発生容器の前記第2入口ノズルと流体接続され、

前記蒸気発生容器の前記第2入口ノズルは、前記第2出口ノズル内に配置され、

10

20

前記第2出口ノズルは、前記原子炉容器の前記第1入口ノズルと流体接続され、
前記閉ループ一次冷却材システムは、前記原子炉容器および前記蒸気発生容器中を流れ
る前記一次冷却材の循環が高温の前記一次冷却材密度と低温の前記一次冷却材の密度の差
により生成される圧力水頭によって生じるように構成され、

前記二次冷却材は、前記蒸気発生容器の前記複数の熱交換器部の各々の中を前記縦方向
に流れ、相を液体から蒸気に変化させ、

前記蒸気発生容器の前記複数の熱交換器部の各々は、下部蒸気発生部および前記下部蒸
気発生部の上に配置された上部過熱器部を含み、前記上部過熱器部は、前記二次冷却材を
過熱蒸気状態まで加熱するように動作可能であり、

前記蒸気発生容器は、前記下部蒸気発生部の頂部管板と前記上部過熱器部の底部管板と
の間に配置された中間フローブレナムを含み、前記一次冷却材は、前記上部過熱器部から
前記下部蒸気発生部まで前記中間フローブレナム中を流れる、冷却材循環による原子力蒸
気供給システム。

【請求項2】

前記閉ループ一次冷却材システムはポンプを含まない、請求項1に記載のシステム。

【請求項3】

前記原子炉炉心の稼働は前記一次冷却材を、前記原子炉容器と前記蒸気発生容器との間
の前記閉ループ一次冷却材システム中の前記一次冷却材の自然循環を生じさせるのに充分
な程度まで加熱する、請求項1に記載のシステム。

【請求項4】

前記原子炉容器および前記蒸気発生容器は独立して支持される、請求項1に記載のシス
テム。

【請求項5】

前記蒸気発生容器はさらに、前記下部蒸気発生部の下に配置された予熱器部を含む、請
求項1に記載のシステム。

【請求項6】

前記予熱器部は前記下部蒸気発生部の下方部分によって形成される、請求項5に記載の
システム。

【請求項7】

前記二次冷却材は前記蒸気発生容器中を上方に流れ、かつ前記一次冷却材は前記蒸気發
生容器中を下方に流れる、請求項1に記載のシステム。

【請求項8】

前記二次冷却材は前記蒸気発生容器の底部から飽和液体として流入し、かつ前記蒸気發
生容器の上部から過熱蒸気として流出する、請求項7に記載のシステム。

【請求項9】

前記蒸気発生容器は、前記原子炉容器に流体連結された前記縦方向に延びる中央ライザ
管を含み、前記一次冷却材は前記原子炉容器から前記中央ライザ管中を上方に流れる、請
求項1に記載のシステム。

【請求項10】

前記二次冷却材は、前記蒸気発生容器の前記第2シェルと前記中央ライザ管との間で前
記蒸気発生容器を前記縦方向に上方に流れる、請求項9に記載のシステム。

【請求項11】

前記一次冷却材はさらに、前記蒸気発生容器内の前記複数の熱交換器部の各々の中を前
記縦方向に下方に流れる、請求項10に記載のシステム。

【請求項12】

前記原子炉容器の前記内部空洞の中央位置に配置された垂直ライザをさらに備え、前記
垂直ライザは、前記原子炉容器と前記蒸気発生容器間の側方に延びる入口/出口継手を介
して、前記蒸気発生容器の前記垂直ライザ管に流体接続される、請求項9に記載のシス
テム。

【請求項13】

10

20

30

40

50

前記複数の熱交換器部の各々は、1対の上下方向に間隔を置いて配置された管板と、前記管板の間に延びる前記縦方向に配向された複数の管を備えた管束とを含み、

前記一次冷却材は管側の前記複数の熱交換器部の各々の管中を下方に流れ、

前記二次冷却材は平行直交流型配置構成の前記複数の熱交換器部の各々のシェル側の管の間を上方に流れる、請求項1に記載のシステム。

【請求項14】

前記蒸気発生容器は、前記原子炉容器に流体連結された前記縦方向に延びる中央ライザ管を含み、前記一次冷却材は前記原子炉容器から前記中央ライザ管中を上方に流れ、前記複数の熱交換器部の各々の前記複数の管は、前記蒸気発生容器の前記第2シェルと前記中央ライザ管との間で前記中央ライザ管の周囲に周方向間隔配置パターンで配設される、請求項13に記載のシステム。 10

【請求項15】

前記蒸気発生容器の頂端に取り付けられた加圧器をさらに備え、前記加圧器は前記頂端を閉じるヘッドを含む、請求項1に記載のシステム。

【請求項16】

前記加圧器は前記蒸気発生容器の前記頂端に前記一次冷却材の液体／気体界面を形成する、請求項15に記載のシステム。

【請求項17】

前記上部過熱器部のシェル側と前記下部蒸気発生部のシェル側とを流体接続する外部二次冷却材バイパス配管ループをさらに備え、前記外部二次冷却材バイパス配管ループは前記中間フローブレナム上を跨ぐように配置される、請求項1に記載のシステム。 20

【請求項18】

前記複数の熱交換器部の下の前記蒸気発生容器の下端に配置された底部フローブレナムをさらに備え、前記底部フローブレナムは、前記蒸気発生容器中を下方に流れる前記一次冷却材を前記原子炉容器に還流させるために捕集するように動作可能である、請求項1に記載のシステム。

【請求項19】

前記蒸気発生容器は、前記一次冷却材を包含する前記原子炉容器の一部分と同程度の高さを有する、請求項1に記載のシステム。

【請求項20】

第1垂直軸線を有し、かつ内部空洞を形成するシェルを備えた、縦方向に細長い原子炉容器と、

流動流体を導通させるために前記原子炉容器の前記内部空洞内に配置された垂直ライザおよびダウンカマであって、相互に流体連通している前記垂直ライザおよび前記ダウンカマと、

前記原子炉容器の前記内部空洞内に配置された核燃料を備えた原子炉炉心と、

第2垂直軸線と、垂直積層関係に流体接続された複数の熱交換器部を含む円筒形シェルとを有する、前記縦方向に細長い蒸気発生容器であって、前記蒸気発生容器の前記円筒形シェルが前記原子炉容器の前記シェルとは別個に形成され、流体継手を介して前記原子炉容器の前記シェルと一体に流体接続された、蒸気発生容器と、 40

前記原子炉炉心による加熱のために一次冷却材が前記原子炉容器の前記ダウンカマおよび前記垂直ライザを流れ、前記一次冷却材がさらに前記蒸気発生容器の前記複数の熱交換器部を流れて熱を、前記蒸気発生容器を流れる二次冷却材に伝達する、閉流動ループを有する原子炉一次冷却材システムと、
を備え、

前記原子炉容器は、第1出口ノズルと、前記第1出口ノズルと同心状に整列した第1入口ノズルとを含み、

前記蒸気発生容器は、第2出口ノズルと、前記第2出口ノズルと同心状に整列した第2入口ノズルとを含み、

前記原子炉容器の前記第1出口ノズルは、前記第1入口ノズル内に配置され、かつ前記

蒸気発生容器の前記第2入口ノズルと流体接続され、

前記蒸気発生容器の前記第2入口ノズルは、前記第2出口ノズル内に配置され、

前記第2出口ノズルは、前記原子炉容器の前記第1入口ノズルと流体接続され、

前記一次冷却材システムは、前記原子炉容器および前記蒸気発生容器中を流れる前記一次冷却材の循環が高温の前記一次冷却材密度と低温の前記一次冷却材の密度の差により生成される圧力水頭によって生じるように構成され、

前記二次冷却材は前記蒸気発生容器の前記複数の熱交換器部を前記縦方向に流過して、相を液体から蒸気に変化させ、

前記原子炉容器の前記第1垂直軸線は前記蒸気発生容器の前記第2垂直軸線から側方に偏位し、

前記蒸気発生容器の前記複数の熱交換器部の各々は、下部蒸気発生部および前記下部蒸気発生部の上に配置された上部過熱器部を含み、前記上部過熱器部は、前記二次冷却材を過熱蒸気状態まで加熱するように動作可能であり、

前記蒸気発生容器は、前記下部蒸気発生部の頂部管板と前記上部過熱器部の底部管板との間に配置された中間フロープレナムを含み、前記一次冷却材は、前記上部過熱器部から前記下部蒸気発生部まで前記中間フロープレナム中を流れる、冷却材循環による原子力蒸気供給システム。

【請求項 2 1】

前記ダウンカマは、前記第1垂直軸線と軸線方向に整列し、前記垂直ライザと同心状に整列する、前記原子炉容器の前記シェルと前記垂直ライザとの間の環状空間によって形成される、請求項2 0に記載のシステム。

【請求項 2 2】

前記一次冷却材は前記蒸気発生容器および前記原子炉容器内で密度を変化させて、前記原子炉一次冷却材システムの自然流循環を形成する、請求項2 0に記載のシステム。

【請求項 2 3】

前記蒸気発生容器内の中央ライザ管および前記中央ライザ管の周りに放射状に配列された熱交換器部の管束をさらに備えた、請求項2 0に記載のシステム。

【請求項 2 4】

前記原子炉一次冷却材システムはポンプを含まない、請求項2 0に記載のシステム。

【請求項 2 5】

前記原子炉炉心の稼働は前記一次冷却材を、前記原子炉容器と前記蒸気発生容器との間で前記原子炉一次冷却材システム中の前記一次冷却材の自然循環を引き起こすのに充分な程度まで加熱する、請求項2 0に記載のシステム。

【請求項 2 6】

前記原子炉容器および前記蒸気発生容器は独立して支持される、請求項2 0に記載のシステム。

【請求項 2 7】

前記蒸気発生容器はさらに、前記下部蒸気発生部の下に配置された予熱器部を含む、請求項2 0に記載のシステム。

【請求項 2 8】

前記予熱器部は前記下部蒸気発生部の下方部分によって形成される、請求項2 7に記載のシステム。

【請求項 2 9】

前記二次冷却材は前記蒸気発生容器中を上方に流れ、前記一次冷却材は前記蒸気発生容器中を下方に流れる、請求項2 0に記載のシステム。

【請求項 3 0】

前記二次冷却材は、前記蒸気発生容器の底部から飽和液体として流入し、かつ前記蒸気発生容器の上部から過熱蒸気として流出する、請求項2 9に記載のシステム。

【請求項 3 1】

前記蒸気発生容器は、前記原子炉容器に流体連結された前記縦方向に延びる中央ライザ

10

20

30

40

50

管を含み、前記一次冷却材は前記原子炉容器から前記中央ライザ管中を上方に流れる、請求項20に記載のシステム。

【請求項32】

前記二次冷却材は、前記蒸気発生容器の前記円筒形シェルと前記中央ライザ管との間で前記蒸気発生容器を前記縦方向に上方に流れる、請求項31に記載のシステム。

【請求項33】

前記一次冷却材はさらに、前記蒸気発生容器内の前記複数の熱交換器部中を前記縦方向に下方に流れる、請求項32に記載のシステム。

【請求項34】

前記複数の熱交換器部の各々は、1対の上下方向に間隔を置いて配置された管板と、前記管板の間に延びる前記縦方向に配向された複数の管を備えた管束とを含み、10

前記一次冷却材は管側の前記複数の熱交換器部の各々の管中を下方に流れ、

前記二次冷却材は平行直交流型配置構成の前記複数の熱交換器部の各々のシェル側の管の間に上方に流れる、請求項20に記載のシステム。

【請求項35】

前記蒸気発生容器は、前記原子炉容器に流体連結された前記縦方向に延びる中央ライザ管を含み、前記一次冷却材は前記原子炉容器から前記中央ライザ管中を上方に流れ、

前記複数の熱交換器部の各々の前記複数の管は、前記蒸気発生容器の前記円筒形シェルと前記中央ライザ管との間で前記中央ライザ管の周囲に周方向間隔配置パターンで配設される、請求項34に記載のシステム。20

【請求項36】

前記蒸気発生容器の頂端に取り付けられた加圧器をさらに備え、前記加圧器は前記頂端を閉じるヘッドを含む、請求項20に記載のシステム。

【請求項37】

前記加圧器は前記蒸気発生容器の前記頂端に前記一次冷却材の液体／気体界面を形成する、請求項36に記載のシステム。

【請求項38】

前記蒸気発生容器は、前記一次冷却材を包含する前記原子炉容器の一部分と同程度の高さを有する、請求項20に記載のシステム。

【請求項39】

原子炉容器に配置された原子炉炉心で液体一次冷却材を加熱するステップと、30

加熱された前記一次冷却材を、前記原子炉炉心に流体接続された垂直ライザ内で第1垂直方向に前記原子炉容器中を上方に流過させるステップと、

加熱された前記一次冷却材を前記原子炉容器の頂部から原子炉容器出口ノズルを介して排出するステップと、

加熱された前記一次冷却材を蒸気発生容器の底部で前記原子炉容器出口ノズルと結合されている蒸気発生容器入口ノズルを介して受容するステップと、

加熱された前記一次冷却材を垂直ライザ管内で前記第1垂直方向に前記蒸気発生容器中を上方に流過させるステップと、

加熱された前記一次冷却材を前記蒸気発生容器の頂部で受容するステップと、40

加熱された前記一次冷却材の流動の方向を前記第1垂直方向の上向きから第2垂直方向の下向きに上下反転させるステップと、

加熱された前記一次冷却材を前記蒸気発生容器中を前記第2垂直方向に下方に流過させ、そこで前記一次冷却材を冷却させるステップと、

冷却された前記一次冷却材を前記原子炉容器に原子炉容器入口ノズルと結合されている蒸気発生容器出口ノズルを介して還流させるステップと、

前記原子炉容器における前記加熱するステップを繰り返すステップと、
を含む方法であって、

前記原子炉容器出口ノズルは、前記原子炉容器入口ノズル内に同心状に配置され、

前記蒸気発生容器入口ノズルは、前記蒸気発生容器出口ノズル内に同心状に配置され、50

前記原子炉容器によって排出される前記一次冷却材は、前記原子炉容器に還流される前記一次冷却材の内部を流過し、

前記原子炉容器および前記蒸気発生容器中の前記一次冷却材の流れが閉循環流動ループを形成し、

前記方法は、二次冷却材を、前記一次冷却材の前記第1垂直方向および前記第2垂直方向と平行に、前記蒸気発生容器中を上方に流過させるステップをさらに含み、

前記蒸気発生容器は、複数の熱交換器部を備え、

前記蒸気発生容器の前記複数の熱交換器部の各々は、下部蒸気発生部および前記下部蒸気発生部の上に配置された上部過熱器部を含み、前記上部過熱器部は、前記二次冷却材を過熱蒸気状態まで加熱するように動作可能であり、

前記蒸気発生容器は、前記下部蒸気発生部の頂部管板と前記上部過熱器部の底部管板との間に配置された中間フローブレナムを含み、前記一次冷却材は、前記上部過熱器部から前記下部蒸気発生部まで前記中間フローブレナム中を流れる、加圧水型原子炉システムで蒸気を発生させる方法。

【請求項40】

前記原子炉容器の前記垂直ライザおよび前記蒸気発生容器の前記垂直ライザ管は、エルボを介して流体接続される、請求項39に記載の方法。

【請求項41】

加熱された前記一次冷却材は前記排出するステップで、前記原子炉容器から前記蒸気発生容器へ横方向に排出される、請求項39に記載の方法。

【請求項42】

前記二次冷却材が前記蒸気発生容器の底部から飽和液体として流入し、かつ前記蒸気発生容器の頂部から過熱蒸気として流出するステップをさらに含む、請求項39に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本願は、2012年4月25日出願の米国特許仮出願第61/638,257号の優先権を主張し、その内容全体を参照によって本書に援用する。

本発明は原子力蒸気供給システムに関し、さらに詳しくは、自然重力駆動型冷却材流動循環システムを有する小型モジュール式原子炉のための蒸気供給システムに関する。

【背景技術】

【0002】

原子力発電施設用の加圧水型原子炉（PWR）は、原子炉の炉心を冷却するため、および二次冷却材を加熱して、ランキン発電サイクル用の作動流体にすることのできる蒸気を発生させるための両方に、一次冷却材の揚水循環および自然循環の両方を利用している。既存の自然循環PWRは、熱交換装置が原子炉圧力容器と一体化され、その中に配置されるという欠点がある。そのような配置構成は熱交換装置の修理および／または保守点検を難しくするだけでなく、装置を腐食条件にさらすことにもなり、結果的に複雑さを増大させ、原子炉圧力容器への貫通部の数を潜在的に増加させる。加えて、熱交換装置を原子炉圧力容器内に配置することは、原子炉容器の放射性の高い構成部品に近接して熱交換装置を修理するために作業員が受ける放射能レベルに関して問題が生じる。この種の流動循環を利用するシステムで自然循環を達成するために、熱交換器は原子炉容器内に配置すべきであるというのが一般的な見解でもあった。

【0003】

改善された原子力蒸気供給システムが望まれている。

【発明の概要】

【0004】

本発明は、上述した既存の配置構成の欠点を克服する、改善された原子力供給システム

10

20

30

40

50

を提供する。

【0005】

本発明の一実施形態では、自然重力駆動冷却材循環による原子力蒸気供給システムは、内部空洞を形成するシェルを備えた縦方向に細長い原子炉容器と、内部空洞内に配置された核燃料を備えた原子炉炉心と、シェルおよび垂直積層関係に配置された複数の熱交換器部を備えた蒸気発生容器であって、蒸気発生容器のシェルが原子炉容器のシェルとは別個に形成され、流体継手を介して原子炉容器のシェルと一体に流体接続された、蒸気発生容器と、原子炉容器と蒸気発生容器との間に形成された閉ループ一次冷却材システムであって、原子炉圧力容器中を流れて原子炉炉心を冷却すると共に、蒸気発生容器中を流れて熱を、蒸気発生容器中を流れる二次冷却材に伝達する、一次冷却材を有する一次冷却材システムとを含む。一次冷却材システムは、原子炉容器および蒸気発生容器中を流れる一次冷却材の重力駆動循環を誘発するように構成される。二次冷却材は蒸気発生容器の熱交換器部の各々の中を垂直方向に流れ、相を液体から蒸気に変化させる。したがって、一実施形態では、一次冷却材システムはポンプを含まない。原子炉炉心の稼働は、原子炉容器と蒸気発生容器との間の閉ループ一次冷却材システムの一次冷却材の自然循環を引き起こすのに充分な程度まで、一次冷却材を加熱させる。

【0006】

別の実施形態では、自然重力駆動冷却材循環による原子力蒸気供給システムは、第1垂直軸線を有し、かつ内部空洞を形成するシェルを備えた、縦方向に細長い原子炉容器と、流動流体を導通させるために原子炉容器の空洞内に配置された垂直ライザおよびダウンカマであって、相互に流体連通している垂直ライザおよびダウンカマと、原子炉容器の内部空洞内に配置された核燃料を備えた原子炉炉心と、第2垂直軸線と、垂直積層関係に流体接続された複数の熱交換器部を含む円筒形シェルとを有する、縦方向に細長い蒸気発生容器であって、蒸気発生容器のシェルが原子炉容器のシェルとは別個に形成され、流体継手を介して原子炉容器のシェルと一体に流体接続された、蒸気発生容器と、原子炉炉心による加熱のために一次冷却材が原子炉容器のダウンカマおよび垂直ライザを流れ、一次冷却材がさらに蒸気発生容器の熱交換器部を流れて熱を、蒸気発生容器を流れる二次冷却材に伝達する、重力駆動閉流動ループを有する原子炉一次冷却材システムとを含む。二次冷却材は蒸気発生容器の熱交換器部を垂直に流過し、相を液体から蒸気に変化させる。原子炉容器の第1垂直軸線は、蒸気発生容器の第2垂直軸線から側方に偏位する。コンテナシステムを用いて放射性廃棄物を貯蔵するための例示的方法を提供する。方法は、原子炉容器に配置された原子力原子炉炉心で液体一次冷却材を加熱するステップと、加熱された一次冷却材を、原子炉炉心に流体接続された垂直ライザ内で第1垂直方向に原子炉容器中を上方に流過させるステップと、加熱された一次冷却材を原子炉容器の頂部から出口を介して排出するステップと、加熱された一次冷却材を蒸気発生容器の底部で入口を介して受容するステップと、加熱された一次冷却材を垂直ライザ管内で第1垂直方向に蒸気発生容器中を上方に流過させるステップと、加熱された一次冷却材を容器の頂部で受容するステップと、加熱された一次冷却材の流動の方向を第1垂直方向の上向きから第2垂直方向の下向きに上下反転させるステップと、加熱された一次冷却材を蒸気発生容器中を第2垂直方向に下方に流過させ、そこで一次冷却材を冷却させるステップと、冷却された一次冷却材を原子炉容器に還流させるステップと、原子炉容器における加熱ステップを繰り返すステップとを含み、原子炉容器および蒸気発生容器中の一次冷却材の流動は閉循環流動ループを形成する。一実施形態では、方法はさらに、二次冷却材を一次冷却材の第1および第2垂直方向と平行に上方に蒸気発生容器中を流過させるステップを含む。一実施形態では、方法はさらに、二次冷却材が蒸気発生容器の底部に飽和液体として流入するステップと、蒸気発生容器の頂部から過熱蒸気として流出するステップとを含む。

【0007】

本発明の利点および態様は以下を含む。

【0008】

地下深部の炉心：原子炉の炉心は、大型PWRおよびBWR原子炉で原子炉の完全性の

10

20

30

40

50

維持における有効性が数十年にわたって実証された A S M E 規格の材料から作られた厚壁の原子炉容器 (R V) 内で地下深部に存在する。原子炉冷却材によって湿潤される全ての表面は、R V における主要な腐食源およびクラッドの蓄積を排除するステンレス鋼またはインコネルから作られる。

【 0 0 0 9 】

原子炉冷却材の重力駆動循環：本開示に係る原子力蒸気供給システムは、原子炉冷却材が炉心を循環するためにいかなる能動部品（すなわち原子炉冷却材ポンプ）にも依存しない。代わりに、R V 、蒸気発生器の熱交換器、およびその他の各種機器中の原子炉冷却材の流動は、一次ループの高温および低温セグメント間の流水の密度差によって生成される圧力水頭によって生じる。原動力としての重力の信頼性は、その本質的安全性を裏付ける。原子炉冷却材の移動にポンプ、弁、またはいかなる種類の運動機械も不要である。10

【 0 0 1 0 】

自力起動が可能（外部電源への無依存）：外部電源は、原子力蒸気供給システムを起動または停止させるのに必須ではない。作動停止中の原子炉残留熱の排除もまた重力駆動循環によって引き起こされる。こうして、原子力発電所の主要な関心事である、現場の緊急停止電力供給の必要性は排除される。実際、原子力蒸気供給システムは、正常および事故の両方の条件下でその稼働要件を満たすために、重力を（そして重力だけを）原動力として使用する。

【 0 0 1 1 】

原子炉炉心の上および周囲における大量貯水の確保：本発明の原子力蒸気供給システムの原子炉容器 (R V) はその頂部以外に貫通部を持たず、それは、全ての正常な熱排除経路が失われる仮説的な想定事象下でさえも、炉心が大量の貯水中に浸漬され続けることを意味する。20

【 0 0 1 2 】

原子炉容器 (R V) における大きい貫通部が無い： R V における全ての貫通部は R V の頂部に配置され、サイズは小さい。原子炉冷却材システムにおける大きい配管の不在は、「大破断」冷却材喪失事故 (L O C A) 事象の潜在的 possibility を排除する。

【 0 0 1 3 】

全ての重要部品への容易なアクセス性：いわゆる「一体型」原子炉システムとは対照的に、蒸気発生器および制御棒駆動システムは、R V の外側の容易にアクセスできる高さに配置され、予防保守および修理を簡便に実行される作業にする。蒸気発生器は一部の実施形態では、予熱器、蒸気発生器、および上に加圧器が搭載された過熱器を含む、単一ループから構成される。ループ内の熱交換器、すなわち予熱器、蒸気発生器、および過熱器は、管に簡便にアクセスしあつ差し込むために、熱交換器管板および / または管束へのアクセスをもたらす、適切に配置されたマンホールのような設計上の特徴を組み込んでいる。熱交換装置を原子力蒸気供給システムにおける原子炉空洞の苛酷な環境の外側に配置する決定は、過去 30 年にわたる P W R 蒸気発生器の低い信頼性、およびそれらを交換するために業界によって負担される莫大な費用によって特徴付けられてきた。30

【 0 0 1 4 】

R V フランジは、R V 円筒の外周を越えるその突出を最小化するリバースジョイントを特徴とする。この設計革新は、スタックを R V ノズルに直接接続すること、すなわち going to forging と forging 接続を可能にし、それらの間の配管を排除する。この設計上の特徴は、大管破断 L O C A の危険性を排除する。40

【 0 0 1 5 】

原子炉冷却材としての脱塩水：原子炉冷却材は、温度の上昇によるその強い負の反応性勾配のため、臨界安全性を高める脱塩水である。ホウ酸塩水の除去もまた、一次冷却材中のホウ素レベルを維持および管理するために必要なシステムおよび機器を除去することによって、原子力蒸気供給システム (N S S S) を簡素化する。純水および耐食性一次冷却材ループは、R V におけるクラッドの蓄積を最小化するのに役立つ。

【 0 0 1 6 】

10

20

30

40

50

改善された蒸気サイクルの信頼性：蒸気サイクルの信頼性は、高圧タービンを完全に省くことによって改善される。むしろ、サイクル蒸気は低圧タービンに送られる前に過熱される。ランキン効率の損失は0.5パーセント未満である。電力サイクルの信頼性の向上および簡素化に関する利益はかなり大きい。

【0017】

圧力制御：加圧器は従来の加熱／急冷要素（圧力制御のための水／蒸気）を含む。一連の電熱器が加圧器部に取り付けられ、それは、一次冷却材の一部を沸騰させ、かつ加圧器の頂部のヘッド付近に滞留する蒸気泡を発生させることによって、圧力を増大させるように働く。噴霧塔が加圧器の頂部ヘッド付近に配置され、それは蒸気泡に水を噴霧し、それによって蒸気を凝縮して、蒸気泡を低減させる。蒸気泡のサイズの増大／縮小は、原子炉冷却材システム内的一次冷却材の圧力を増大／低減させるように働く。1つの例示的実施形態では、加圧器によって維持される一次冷却材圧力は、約2,250 psiとすることができますが、それに限定されない。

【0018】

代替的実施形態では、窒素式加圧器システムを使用することができる。この実施形態では、加圧器は、加圧器に流体連結された外部高圧窒素タンクから制御された窒素圧を加えることによって、原子炉容器の圧力を制御するように働く。窒素圧制御原子炉は他の型の原子炉で使用されてきており、迅速な応答プロファイルを持ち長年の成功稼働経験を有する。

【0019】

原子炉内の燃料破損の防止：稼働中の全燃料破損の70パーセント以上は、フレッティング（繰返し衝撃による腐食）損傷から発生することが知られており、それはグリッドストラップによる燃料棒の「ピンジング」の結果である。グリッドストラップの振動は、燃料の周囲の乱流のレベルに直接関係する。本発明の原子力蒸気供給システムでは、レイノルズ数は、今日の典型的な稼働中のPWRのレイノルズ数の約20パーセントである。低いレイノルズ数は、燃料棒に対するピンジング作用の緩和（腐食率は衝撃速度の約4.8乗で変化する）、およびしたがってフレッティング損傷率の劇的低下と解釈される。本発明の原子力蒸気供給システムに選択される低い燃焼レベル（現在稼働している原子炉の約60と比較して、(1MTU当たり45GWDの範囲)もまた、燃料被覆材の脆性を改善するのに役立ち、したがって燃料棒の損耗を防止する。

【0020】

自己遮蔽の増大：本発明の原子力蒸気供給システム(NSSS)における一次流体の重力駆動循環は、別の顕著な利益を NSSS から生じる放射線量の劇的低減の形で生み出す。これは、炉心の炉水の酸素の中性子衝撃によって生じる窒素(N-16)同位体が、格納容器から発する放射線の大きな原因である高ガンマエネルギー放出N-16同位体を生成するためである。しかし、N-16は半減期がわずか7.4秒であり、それは、一次水が蒸気発生器の頂部まで移動するのに要する時間の4分の1に満たない。したがって、N-16の量は7超の半減期で減少し、それは事実上、極小値まで減少することを意味する。スコーピング計算は、NSSSの蒸気発生器の頂部からの放射線量を同様の大きさの揚水型PWRより3桁以上小さくすることを示唆している。したがって、放射線の遮蔽のために本発明の NSSS 用の厚いコンクリートの格納容器を建造する必要が無い。鉄筋コンクリートの格納容器を現場で建造する代わりに、航空機の衝突に耐えることのできる、工場で製作された鋼製格納容器が配置され、それはより適切であり、かつより経済的である。

【0021】

本発明の例示的実施形態の特徴を、以下の図面に関連して説明する。これらの図において、類似の要素には類似の記号が付けられている。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】原子炉容器および蒸気発生容器を備えた蒸気発生器組立体を含む、本開示に係る

10

20

30

40

50

原子力蒸気供給システムを含む格納容器の断面図である。

【図2】流れの矢印によって表される主冷却材の流路または循環流ループを示す、図1の原子力蒸気供給システムの概略流れ図である。

【図3】図1の原子炉容器の立面断面図である。

【図4】予熱器部および蒸気発生器部を示す、図1の蒸気発生容器の原子炉容器の底部の立面断面図である。

【図5】蒸気発生容器の上に取り付けられた過熱器部および加圧器を示す、図1の蒸気発生容器の頂部の立面断面図である。

【図6】図1の原子炉容器内に配置された燃料カートリッジの分解斜視図である。

【図7】図1の蒸気発生器組立体の正面図である。

10

【図8】図1の蒸気発生器組立体の側面図である。

【図9】図1の蒸気発生器組立体の上面図である。

【図10】図1の蒸気発生器組立体の上面斜視図である。

【図11】図1の蒸気発生器組立体の底面斜視図である。

【図12】図8の線XⅠⅠ-XⅠⅠに沿って切った蒸気発生容器の横断面図である。

【図13】図8の線XⅠⅢ-XⅠⅢに沿って切った蒸気発生容器の横断面図である。

【図14】図8の線XⅣ-XⅣに沿って切った蒸気発生容器の縦断面図である。

【図15】図14に示したXV部の拡大詳細図である。

【0023】

全ての図面は概略図であって、必ずしも正確な縮尺ではない。

20

【発明を実施するための形態】

【0024】

本発明の特徴および利点について、本明細書で例示的実施形態を参照することによって例証し説明する。例示的実施形態のこの説明は、明細書全体の一部とみなされる添付の図面に関連して読むように意図されている。本書に開示する実施形態の説明において、方向または向きの言及は単に、説明の便宜を図ることを意図するにすぎず、いかなる形でも本発明の範囲を限定することを意図するものではない。「下方」、「上方」、「水平」、「垂直」、「より上」、「より下」、「上向き」、「下向き」、「頂部」、および「底部」のような相対的用語およびそれらの派生語（例えば「水平に」、「下向きに」、「上向きに」等）は、そのとき説明されているか、あるいは説明している図面に示されている向きを指していると解釈すべきである。これらの相対的用語は、単に説明の便宜を図るものであって、装置を特定の向きに構築または操作することを要求するものではない。「取り付けられた」、「付着された」、「接続された」、「連結された」、「相互接続された」のような用語等は、明示的にそうでないことが記載されない限り、構造物が直接的にまたは介在構造物を介して間接的に相互に固定されまたは取り付けられる関係のみならず、可動または不動の取付け状態または関係をも指す。したがって、開示は明示的に、単独または他の特徴と組み合わせて存在することのできる特徴の一部の可能な非限定的組合せを例証するそのような例示的実施形態に限定されない。

30

【0025】

図1～図6を参照すると、本開示に係る原子力加圧水型原子炉（PWR）のための蒸気供給システムが示されている。熱水力的観点から、システムは、原子炉容器200と、原子炉容器に流体連結された蒸気発生容器300とを一般的に含む蒸気発生器組立体100を含む。蒸気発生容器および原子炉容器は縦方向に細長い別個の構成部品であり、それらは油圧で密結合されているが、容器の間を流れる一次ループ冷却材（すなわち原子炉冷却材）の熱交換を除いては熱的に分離された、それ自体個別の容器である。本書でさらに説明する通り、蒸気発生容器300は一実施形態では、予熱器320と、主蒸気発生器330と、二次冷却材ループを流れる水のような流体を入口301で蒸気発生容器300に流入する液体から出口302で蒸気発生容器から流出する過熱蒸気に変換する過熱器350とを含む。二次冷却材ループの水は、一部の実施形態で電力を生産するためにタービン発電設備を駆動するのに使用される、ランキンサイクル流体とすることができます。

40

50

【 0 0 2 6 】

蒸気発生容器 300 はさらに、一次冷却材流体の所定の圧力を維持する加圧器 380 を含む。加圧器は、蒸気発生容器 300 の上に取り付けられた圧力容器であり、蒸気発生器内の一次冷却材圧力の制御を可能にするように動作する液体 / 気体界面（すなわち一次冷却材の水 / 不活性ガス）を維持するように設計されている。一実施形態では、図示する通り、加圧器 380 は蒸気発生容器 300 の上に直接取り付けることもでき、容器の頂端を油圧で密閉するための容器の一体的な単一の構造部品を形成する。上述した 3 つの熱交換器および加圧器の集合を「スタック」と呼ぶことがある。

【 0 0 2 7 】

図 1 を参照すると、原子炉容器 200 および蒸気発生容器 300 は蒸気発生器封じ込め容器 110 に格納されている。封じ込め容器 110 は、頂部 111、底部 112、およびそれらの間に延びる円筒状側壁 113 から構成された適切な工場製作鋼製容器とすることができます。一部の実施形態では、封じ込め容器の地表面より上に位置する部分は、航空機の衝突に耐えるのを助けるように延性リブ付き鋼で作製してよい。封じ込め容器 110 の頂部 111 の上に間隔を置いて配置されるミサイルシールド 117 は、封じ込め容器の一部分として、または封じ込め容器 110 を包囲する別個の封じ込め囲い構造体（図示せず）として設けてよい。水平隔壁 114 は封じ込め容器を上部 114 a および下部 114 b に分割する。隔壁 114 は封じ込め容器内の床を画定する。一実施形態では、図示するように、原子炉容器 200 の大部分は下部 114 b に配置することができ、蒸気発生容器 300 は上部 114 a に配置することができる。

10

【 0 0 2 8 】

様々な実施形態で、封じ込め容器 110 は、地上に、部分的に地下に、または完全に地下に設置することができる。特定の実施形態では、封じ込め容器 110 は、原子力燃料原子炉炉心（例えば燃料カートリッジ 230）を含む下部 114 b の少なくとも一部分または全部が地面の下に位置するように、配置することができる。一実施形態では、原子炉容器 200 全体および蒸気発生容器 300 の一部分は、最大限の安全のために完全に地下に位置する。封じ込め容器 110 の円筒状のシェルまたは側壁 113 は、図 1 に示すように、封じ込め容器の地上および地下に位置する部分の境界を設けるために、周方向に溶接またはボルト締結されるフランジ継手 119 によって接合される、上部および下部に水平分割することができる。他の実施形態では、上部および下部はフランジを使用することなく溶接することができる。

20

【 0 0 2 9 】

一実施形態では、例えば封じ込め容器 110 は、160 MW（メガワット）のモジュール式原子力発電施設の場合、約 200 フィート以上の代表的高さを有することができるが、それに限定されない。この発電施設の非限定的な代表的直径は約 45 フィートである。システム構成部品の構成および寸法に応じて、封じ込め容器は任意の適切な高さおよび直径を持つことができる。

30

【 0 0 3 0 】

封じ込め容器 110 はさらに、一実施形態では、増強された放射線遮蔽および原子炉炉心用の容易にアクセス可能な冷却材の予備的貯蔵を提供するために冠水した円筒状外接壁包囲体 116 によって画定される、ウェット原子炉ウェル 115 を含む。一実施形態では、壁包囲体 116 は、図示するように原子炉容器 200 の外周に延びるステンレス鋼の円筒状壁から形成することができる。包囲体 116 を構築するために、他の適切な材料を使用してよい。ウェット原子炉ウェル 115 は、封じ込め容器 110 の下部 114 b に配置される。下部 114 b はさらに、包囲体 116 に隣接して、冠水（すなわち水）使用済み燃料プール 118 を含むことができる。一実施形態では、図 1 に示すように、使用済み燃料プール 118 および壁包囲体 116 の両方が図 1 に示すように水平隔壁 114 の下に配置される。

40

【 0 0 3 1 】

一実施形態では、図 1 に示すように、壁包囲体 116 は隔壁 114 の上に延びることが

50

でき、原子炉容器と蒸気発生容器との間の入口／出口ノズル接続は、壁包囲体の貫通によって行うことができる。

【0032】

さらに図1に示すように、原子炉容器200および蒸気発生容器300は両方とも、封じ込め容器110の接地面積および直径を低減するために、図示するように垂直方向に配向することが好ましい。封じ込め容器110は、原子炉容器および蒸気発生容器の両方、ならびに任意の他の装備を格納するのに充分大きい直径を有する。封じ込め容器110は、電力生産用のタービン発電設備を駆動するためにランキンサイクルに関連する第2冷却材ループ流体の流れのための水および蒸気の入口および出口貫通部を除き、完全に格納された蒸気発生器を提供するように、原子炉容器および蒸気発生容器を完全に格納するのに充分大きい高さを有することが好ましい。

10

【0033】

図2は、一次冷却材ループ内の一次冷却材（例えば水）の流れまたは循環を示す。一実施形態では、一次冷却材流は、原子炉容器200で加熱され、次いで蒸気発生容器300で、熱がタービン発電（T-G）設備を駆動するランキンサイクルの二次冷却材ループに伝達されるときに冷却されるので、冷却材の温度および対応する密度の変化に依存する重力駆動式である。冷却材の変化する異なる密度（すなわち高温・低密度および低温・高密度）によって生じる圧力水頭は、流れ方向矢印によって示されるように、原子炉容器・蒸気発生容器システム中の流れまたは循環を誘発する。利点は、重力駆動一次冷却材の循環は冷却材ポンプまたは機械類を必要とせず、よって結果的にコスト（資本、運営、および維持）が節減され、システムの電力消費が低減し、よってPWRシステムのエネルギー変換効率が増大することであり、それに加えて本書に記載する他の利点もある。

20

【0034】

原子炉容器200は、2012年8月3日に出願した本願と同一出願人による米国特許出願第13/577,163号に開示された、重力駆動循環システムを備えた原子炉容器と同様とすることができます、その内容全体を参照によって本書に援用する。

【0035】

図3を参照すると、1つの非限定実施例における原子炉容器200は、一体的に溶接された半球形底部ヘッド203および取外し可能な半球形頂部ヘッド202を備えた円筒状側壁シェル201から構成された、ASME規格第3章分類1の厚壁筒形圧力容器である。シェル201は、本書に記載する通り、原子炉炉心、原子炉シラウド、および他の装備を保持するように構成された内部空洞208を画定する。一実施形態では、原子炉容器シェル201の上端部は、頂部ヘッド202に溶接された同様のフランジ205にボルトで締結されたテーパ付きハブフランジ204（当業界で「溶接ネック」フランジとしても知られる）を具備することができる。一実施形態では、頂部ヘッド202は、あらゆる運転モードで高結合性二重ガスケットシールを確立するために予張力を加えた1組の合金ボルト（図示せず）を介して、（円筒状原子炉容器シェルに対しても突合せ溶接される）「頂部フランジ」に固定される。頂部ヘッド202のボルト締結接続は、原子炉炉心のような原子炉容器内部へのアクセスを容易にする。

30

【0036】

2つの相フランジ204、205の間で圧縮される2つの同心状の自己緊塞ガスケット206は、頂部ヘッド202とシェル201との間の接続部における原子炉容器200の漏れ密封性をもたらす。稼働条件下の漏れ密封性は、本書でさらに説明する通り、システムにおける一次冷却材の流体の流れ構成によってもたらされる、フランジ継手の軸対称性加熱によって保証される。頂部ヘッド202は制御棒を挿入するための垂直貫通部207を含み、かつさらに、関連する制御棒駆動体を取り付けるための基礎としても役立つことができ、それらは両方とも描かれておらず、これ以上詳述しないが、当業界では周知である。

40

【0037】

引き続き図3を参照すると、原子炉容器200は、燃料カートリッジ230によって画

50

定される原子炉炉心を収容する円筒状原子炉シュラウド 220 を含む。原子炉シュラウド 220 は、原子炉容器のシェル部を横方向に 2 つの同心状に配設された空間に分割する。すなわち(1)原子炉シュラウドの外面とシェル 201 の内面との間に形成され、一次冷却材が原子炉容器に流入するための環状ダウンカマ 222 を画定する外環 221、および(2)原子炉炉心における核分裂によって加熱され、原子炉容器から流出する一次冷却材のためのライザカラム 224 を画定する通路 223 である。原子炉シュラウド 220 は細長く、原子炉容器の垂直軸線 VA1 に沿って軸線方向に延び、高さを画定し、開口底部 225 および閉鎖頂部 226 を含む。一実施形態では、本書でさらに説明する通り、頂部 226 は、ライザカラム 224 を上昇流動してきた一次冷却材を蒸気発生容器 300 に向かわせる、頂部流れ遮断板 227 によって閉鎖することができる。一実施形態では、原子炉シュラウド 220 の底部 225 は、原子炉容器 200 の底部ヘッド 203 から垂直方向に離して配置され、底部フロープレナム 228 を画定する。底部フロープレナム 228 は環状ダウンカマ 222 から一次冷却材を捕集し、冷却材の流れを原子炉シュラウド 220 の開口底部 225 によって形成されるライザカラム 224 の入口に向かわせる(例えば図 2 参照)。

【0038】

燃料カートリッジ 230 および原子炉シュラウド 220 は両方とも、炉心支持構造体(「CSS」)によって支持され、それは一実施形態では、原子炉シュラウドおよび原子炉容器 200 のシェル 201 の間に渡され、それらに取り付けられた複数の側方支持部材 250 を含む。周方向および垂直方向の両方に間隔を置いて配置された適切な数の支持部材が、燃料カートリッジ 230 および原子炉シュラウド 220 の総合重量を支持するために必要に応じて設けられる。一実施形態では、原子炉シュラウド 220 の底部は、シュラウドが垂直軸線方向に(すなわち垂直軸線 VA1 と平行に)熱的に成長することを不当に束縛することなく可能にするために、原子炉容器 200 に固定されない。

【0039】

原子炉シュラウド 220 は一実施形態では、ステンレス鋼のような、しかしそれに制限されない耐食性材料から作ることのできる二重壁のシリンダである。原子炉シュラウド 220 のこの二重壁構成は、それを越える熱の流れを遅らせるよう設計された断熱構造体を形成し、かつ図 1 ~ 図 3 に示すように一実施形態ではシュラウドの底端部に位置することが好ましい燃料カートリッジ 230(「炉心」)における核分裂によって加熱された一次冷却材(すなわち水)の上昇流のための平滑な垂直ライザカラム 224 を形成する。原子炉シュラウド 220 内の燃料カートリッジ 230 の上の垂直空間は、相互接続された制御棒セグメントと共に、原子炉の稼働中に流れに誘発される振動からそれらを保護するように働く 1 組の「非セグメントバフル」を含むこともできる。原子炉シュラウド 220 は、金属疲労から破損を誘発することがある機械的振動による損傷を防止するために、支持部材 250 により原子炉容器によって側方に支持される。

【0040】

一実施形態の燃料カートリッジ 230 は直立燃料アセンブリを包含する単一自律的構造体であり、相対的に深い水のプレナムが燃料カートリッジの下に位置するように、底部ヘッド 203 の上に間隔を置いて配置された原子炉容器 200 の領域に配置される。燃料カートリッジ 230 は原子炉シュラウド 220 によって断熱されるので、核燃料炉心で核分裂反応によって生じる熱の大部分は、燃料カートリッジおよび隣接するライザカラム 224 の上部を流れる一次冷却材を加熱するのに使用される。燃料カートリッジ 230 は、一次冷却材をカートリッジ中に完全に上昇流動させるように(流れ方向矢印を参照)、円筒状の側壁 231、開口頂部 233、および開口底部 234 を含む開放円筒状構造体である。一実施形態では、側壁 231 は、適切な手段によって一体に接合される反射体の複数の弓状セグメントによって形成することができる。燃料カートリッジ 230 の開放内部には、核燃料棒を保持するため、かつ必要に応じて核分裂反応を制御する制御棒を炉心内に挿入するために、支持グリッド 232 が充填される。

【0041】

10

20

30

40

50

簡潔に述べると、稼働中に、高温の原子炉一次冷却材は、図2および図3に示すように、隣接する蒸気発生容器300で冷却するために、低流れ抵抗性の出口ノズル270を介して原子炉容器200から流出する。冷却された原子炉一次冷却材は蒸気発生容器300から流出し、入口ノズル271を介して原子炉容器200内に流入する。原子炉容器における内部配管および配置構成は、冷却された原子炉冷却材を下降させて環状ダウンカム222に向かわせる。原子炉容器200の高さは、重力によって作動する熱サイホン作用（密度差駆動流）として一般的に知られている熱水塔および冷水塔の密度差のおかげで再循環する原子炉一次冷却材の適切なレベルの乱流を支持するように選択することが好ましい。一実施形態では、原子炉一次冷却材の循環は、充分な乱流および安定した水力性能を確実にするように（適切な余裕をもって）決定された、熱サイホン作用によって生じる8 p 10 sⁱ超の圧力によって駆動される。

【0042】

図1および図3を参照すると、原子炉容器シェル201の頂部は、原子炉支持フランジ280と呼ばれることがある塊状の上部支持鍛造体に溶接される。支持フランジ280は、原子炉容器200およびウェット原子炉ウェル115より上の内部構成部品の重量を支持する。一実施形態では、支持フランジは、図示するように原子炉容器の周りに周方向に間隔を置いて配置されかつ原子炉容器およびフランジの両方に溶接された、複数の突耳281によって構造的に強化され補強される。支持フランジは、原子炉容器200の自重を封じ込め容器110に移動させる水平隔壁114と接触係合する。稼働中に原子炉が加熱するときの原子炉容器の半径方向および軸線方向の熱膨張（すなわち成長の大部分は水平隔壁114から主として下向きである）は制約を受けない。しかし、隔壁114より上に突出する封じ込め容器110の部分は、蒸気発生容器30の上向きの成長と調和して上向きに自由に成長し、蒸気発生容器と原子炉容器との間の軸方向の膨張差を最小化する。原子炉容器および蒸気発生容器は加熱されたときに略同一の率で高さが熱成長するように構成され構造化されるので、この配置構成は、原子炉容器と蒸気発生容器との間の一次冷却材流体継手273における潜在的熱膨張応力を最小化するのに役立つ。 20

【0043】

支持フランジ280は、図1および図2に示すように、原子炉容器200の頂部ヘッド202から隔壁114より上の蒸気発生容器300に流体接続を行うことを可能にする充分な距離を置いて、原子炉容器シェル201に垂直方向下方に配置される。原子炉容器200が封じ込め容器110の内部に取り付けられたときに、原子炉容器の頂部ヘッド202および一次冷却材流体継手273（複合入口・出口フローノズル270/271、および図4に示す蒸気発生容器300の入口・出口フローノズル371/370によって集合的に形成される）は、原子炉ウェル115より上に配置される。これは、蒸気発生器ヘッダへの接続のため、および設計安全システム（例えば制御棒等）が想定される様々な事故シナリオに対応するための場所を提供する。しかし、原子炉容器シェル201の大部分は、図1に示すように隔壁114より下に配置させ、ウェット原子炉ウェル115に浸漬させることができる。 30

【0044】

原子炉容器200の底部領域は、地震事象に耐えるように、原子炉シェル201と円筒状包囲体116の原子炉ウェル115内面との間の空間にわたる側方制震システム260（図1に概略的に示す）によって拘束される。制震設計は、原子炉容器200の自由軸線方向（すなわち垂直軸線VA1に沿った長手方向）および直径方向の熱膨張を可能にするように構成される。原子炉ウェル115は、原子炉の内容物のエンタルピを急激に上昇させることが想定される（仮説的、非機械的）事故に対する徹底した防御を提供するために、発電運転中は冠水される。原子炉は漏れまたは破断による炉心の水の喪失を防止するよう設計され、かつ原子炉ウェルは冠水されるので、溶融燃料（コリウム）による原子炉容器の溶け落ちの可能性は低い。 40

【0045】

図3および図4を参照すると、複合入口・出口フローノズル270/271は、外側入

10

20

30

40

50

出口ノズル 270 および内側出口ノズル 271 を含む 2 つの同心状中空鍛造体から構成される。出口ノズル 271 は、原子炉シュラウド 220（原子炉容器シェル 201 の内部）に溶接された一端と、蒸気発生容器 300 の入口ノズル 371 に溶接された反対側の端とを有する。入口ノズル 270 は、原子炉容器シェル 201 に溶接された一端と、蒸気発生容器 300 の出口ノズル 370 に溶接された反対側の端とを有する。流れ遮断板 227 は、原子炉容器から出でていく高温の一次冷却材の水が環状体 221 内に逆流できないことを確実にするのに役立つ。本実施形態では、原子炉容器の出口ノズル 271 および蒸気発生容器の入口ノズル 371 は各々、原子炉容器の入口ノズル 270 および蒸気発生容器の出口ノズル 270 より小さい直径を有する。複合入口 - 出口フローノズル 270 / 271 は封じ込め容器 110 の隔壁 114 より上に位置する。蒸気発生容器 300 の入口ノズル 371 および出口ノズル 370 は集合的に、蒸気発生容器のための同心配列嵌め合い複合入口 / 出口ノズル 371 / 370 を画定する。
10

【0046】

「大破断」冷却材喪失事故（LOCA）事象の潜在的危険性を生み出す、原子炉一次冷却材システムにおける大きい配管の長いループを回避するために、原子炉容器 200 の複合入口 - 出口フローノズル 270 / 271 および蒸気発生容器の複合入口 / 出口ノズル 371 / 370 は両方とも、それぞれの容器のシェルに意図的に非常に密に結合され、シェルより半径方向にわずかに突出する。これは、図 1 および図 2 に示すように、入口 / 出口ノズルを介して原子炉容器 200 を蒸気発生容器 300 に直接結合することを可能にする。図 3 に示すように、原子炉容器の複合入口 - 出口フローノズル 270 / 271 は、支持フランジ 280 の半径方向の突出を超えない距離だけ、シェル 201 から半径方向に突出することが好ましい。原子炉容器 200 と蒸気発生容器 300 との間の入口 / 出口ノズル接続の全長は、特定の実施形態では、原子炉容器と蒸気発生容器との間の長い距離の大きい冷却材配管を排除するために、原子炉容器 200 および / または蒸気発生容器 300 の直径以下であることが好ましい。一実施形態では、原子炉容器 200 と蒸気発生容器 300 との間のノズル接続は、エルボまたはベンドを使用せず、直線状である。
20

【0047】

次に、蒸気発生容器 300 についてさらに詳しく説明する。図 1 ~ 図 5 を参照すると、一実施形態の蒸気発生容器 300 は、垂直軸線 VA2 を画定する円筒状シェル 312 を有する、垂直に配向された細長い構造体とすることができます。一実施形態では、蒸気発生容器の垂直軸線 VA2 は、蒸気発生容器が原子炉容器に横方向に隣接して配置されるように、原子炉容器 200 の垂直軸線 VA2 から水平方向に偏位する。一実施形態では、蒸気発生容器 300 は、少なくとも原子炉容器 200 の高さと同程度の高さを有する。蒸気発生容器は、下から上に予熱器 320、主蒸気発生器 330、過熱器 350、および加圧器 380 を含み、これらを支持する。一実施形態では、予熱器 320 は蒸気発生器部 330 の底部によって形成され、したがって別個の管板を含まない。蒸気発生器組立体 100 の特定の配列および構成では、予熱器 320 は、システムの熱水力設計によっては省いてよい。
30

【0048】

一実施形態では、蒸気発生容器 200 は、本書に記載する原子炉容器支持体 280 と同様とすることのできるガセット支持フランジ 400 を含む。蒸気発生容器はシェル 312 に溶接し、図 1 に示すように隔壁 114 から支持することができる。
40

【0049】

予熱器 320、蒸気発生器 330、および過熱器 350 は、各々が複数の平行直管 332（すなわち管束）を有し、各管束の先端または端部に管を支持する管板 333 が配置されて成る、管状熱交換器である。一実施形態では、予熱器 320、蒸気発生器 330、および過熱器 350 は、二次冷却材（ランキンサイクル）が原子炉一次冷却材とは平行であるが逆の方向に流れる、平行向流型熱交換器配列を形成するように配置される（例えば図 4 および図 5 参照）。三つ組の上述した管状熱交換器（すなわち予熱器、蒸気発生器、および過熱器）は、管側（原子炉一次冷却材）およびシェル側（相を液体から過熱気体に変
50

化させるランキンサイクルの作動流体を形成する二次冷却材)の両方で直列に流体接続される。

【0050】

蒸気発生容器300は、頂部310、底部311、軸線方向に延びる円筒状シェル312、およびシェル312と同心状に整列しあつ容器の中心線CL2上に位置する内部ライザ管337を含む。管332は、予熱器320、蒸気発生器330、および過熱器350を含む蒸気発生容器300の断面でライザ管とシェル312との間に、ライザ管337の外側の周りに周方向に配設される。一実施形態では、ライザ管337は、蒸気発生容器300の頂部から底部まで、予熱器320、蒸気発生器330、および過熱器350に関連付けられる管板333の全部に完全に延びて、原子炉容器200と加圧器380との間の連続した原子炉一次冷却材流路を形成する。10

【0051】

一実施形態では、蒸気発生容器は、上部過熱器部351と、ボルト締結フランジ継手352などによって蒸気発生器部に着脱自在に取り付けられる下部蒸気発生器部331とを含む。これは、蒸気発生器部331(蒸気発生器330および予熱器320を含むことができる)および過熱器部351(過熱器35および加圧器380を含むことができる)を別々に製作して、発電所敷地に輸送し、そこで組み立てることを可能にする。

【0052】

下部蒸気発生器部331は、上部過熱器部351の下部フランジチャネル335にボルトで締結された上部フランジチャネル334で頂部を終端して、集合的にフランジ継手352および中間プレナム339を形成する(図2参照)。蒸気発生器部331の底部は、図4に最もよく示すように、底部ヘッド336bで終端する。底部ヘッド336bはライザ管337とシェル312との間に環状空間を画定し、それは、一次冷却材を捕集して蒸気発生容器300から原子炉容器200に向かわせる底部プレナム338を形成する。底部ヘッド336bは、シェル312およびライザ管337と直角に配置される入口・出口フローノズル371/370を形成する。入口ノズル371は、一次冷却材の方向を水平から垂直に変えるために、エルボ371aによってライザ管337に流体連結することができる。20

【0053】

上部過熱器部351は、上述の通り、底部を下部フランジチャネル334で終端する。過熱器部351は、図2および図5に示すように、その上に加圧器380が配置され、それはライザ管337の頂部または出口および過熱器管332への入口の両方と流体連通する。一実施形態では、加圧器380は蒸気発生容器300のシェル312に直接取り付けられ、シェルの頂部ヘッド336aを形成する。一実施形態では、加圧器はドーム形または半球形のヘッドを有し、シェル312に溶接するか、あるいは代替的に、他の可能な実施形態ではボルトで締結することができる。加圧器380は、ライザ管337を上昇してくる原子炉一次冷却材を捕集して一次冷却材を過熱器管332に分配する、上部プレナムを形成する。加圧器380は、原子炉一次冷却材の圧力制御用の加熱/急冷要素381(すなわち水/蒸気)を含む。図2および図5に概略的に示すように、要素381は加圧器部に設置された一連の電熱器383を含み、それらは、一次冷却材の一部を沸騰させかつ加圧器の頂部のヘッド付近(破線で表される液体/気体界面340より上)に存在する蒸気泡を形成することによって、圧力を高めるように働く。水噴霧塔384は加圧器の頂部ヘッド336a付近に位置し、水を蒸気泡に噴射し、それによって蒸気を凝縮させ、蒸気泡の大きさを低減させる。蒸気泡のサイズの増大/縮小は、原子炉冷却材システム内的一次冷却材の圧力を増大/低減させるように働く。1つの例示的実施形態では、加圧器380および加熱/急冷要素381によって維持される代表的な一次冷却材圧力は約2,250psiとすることができますが、それに限定されない。3040

【0054】

代替的実施形態では、上述の通り、液体/気体界面340は、加圧器380に接続された供給タンク(図示せず)によって供給される窒素(N2)のような不活性ガスと、液体50

一次冷却材との間に形成される。

【0055】

加圧器380は、図示する通り溶接接続または代替的に一部の実施形態におけるボルト締結を含め、いずれかの適切な手段によって、図5に示す最上位または入口管板333より上の過熱器部351の頂部に接続することができる。一実施形態では、図2および図5に示す通り、加圧器380はドーム形または半球型の頂部またはヘッドを有することができる。

【0056】

一実施形態では、過熱器管332の外面は、気体状過熱蒸気媒体の低下した熱伝達率を補償するために、一体的フィンを含むことができる。過熱器管束は、蒸気流が管束内の管を横切るのではなく、管に沿って平行な向流であることを確実にすることによって、(すなわち上昇流に微小水滴が同伴し続けることによって)腐食を防止する。10

【0057】

図2および図4～図5を参照すると、中間プレナム339を回って上昇流動する蒸気を運び、上部および下部フランジチャネル334、335をバイパスするために、少なくとも1つの略U字形蒸気バイパス配管ループ303が設けられる。蒸気配管ループ303は蒸気発生容器300のシェルに近接して配置され、かつできるだけ短くすることが好ましい。

【0058】

1つの非限定実施形態では、蒸気発生容器300はステンレス鋼のような耐食性金属から作ることができる。20

【0059】

次に、原子炉一次冷却材およびランキンサイクル用の二次冷却材の流路について説明する。図2および図3は蒸気発生器組立体100の原子炉一次冷却材の流路を示す。図4～図5は主として、蒸気発生容器300中のランキンサイクルの二次冷却材の流路を示す。冷却された一次冷却材(「低温」)は出口ノズル370を介して蒸気発生容器300から流出し、外側入口ノズル270を介して原子炉容器200に流入する。一次冷却材は環状ダウンカマ222中を下方に流れ、ライザカラム224の底部に流入する。一次冷却材は燃料カートリッジ230中を上方に流れ、燃料炉心の対流および熱伝導によって加熱される。今加熱された、すなわち「高温」の一次冷却材は外側入口ノズル270を介して原子炉容器200を出て、入口ノズル371を介して蒸気発生容器300に入る。高温の一次冷却材はライザ管337内を垂直方向に上向きに流れ、「スタック」の頂部で加圧器380内に送られる。高温の一次冷却材は方向を逆転し、蒸気発生容器200中を下降し始める。高温の一次冷却材は最初に、シェル側でスタック内の下の蒸気発生器230から上方に流れる飽和蒸気(二次冷却材)を有する管束の管側で、過熱器350中を下降する。飽和蒸気は過熱状態になり、蒸気発生容器300から流出する。今温度が下がっていく高温の冷却材は蒸気発生容器300中を下降し続け、次に管側で蒸気発生器330中を進む。シェル側では、一次冷却材が熱を二次冷却材に渡してさらに冷却されるにつれて、液体二次冷却材は相変化を受け、蒸気に変化する。今さらに冷却された一次冷却材は管側で予熱器320中を下降し、蒸気発生器の上流の管束のシェル側の二次冷却材に遭遇してそれを予熱する。今冷却された一次冷却材は蒸気発生容器300および原子炉容器200中の閉流動ループを完了し、入口ノズル270を介して再び原子炉容器に流入する。30

【0060】

一実施形態では、例示的非限定的な原子炉容器の「高温」出口温度は、約575°Fから約600°Fまでの範囲とすることができます。例示的非限定的な原子炉容器の「低温」入口温度は、約350°Fから385°Fまでの範囲とすることができます。例示的な原子炉容器の動作圧力は、加圧器380によって維持される約2,250psi(1平方インチ当たりポンド圧力)とすることができる。特定用途の熱伝達要件およびランキンサイクル側の蒸気生成動作パラメータに応じて、他の適切な流れの温度および圧力を使用することができます。一実施形態では、原子炉容器一次冷却材は非ホウ酸塩含有脱塩水とすること40

ができる。

【0061】

1つの例示的実施形態では、蒸気発生容器のシェル312は、508型炭素鋼のような鋼製とすることができます。管312がインコネルから作製される場合、管板333は、インコネルを被覆した同じ鋼から作製することができます。

【0062】

本発明について、当業者がそれを容易に作製しかつ使用することができるよう、充分に詳細に説明しかつ例証したので、本発明の精神および範囲から逸脱することなく、様々な変形、変化、および改善は容易に明らかになるはずである。

【図1】

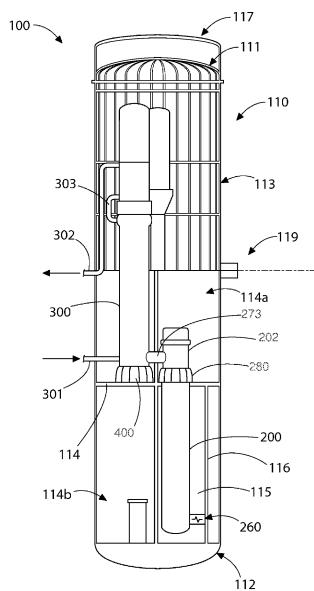


FIG. 1

【図2】

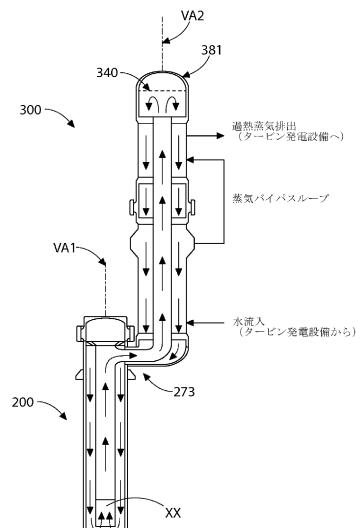


FIG. 2

【図3】

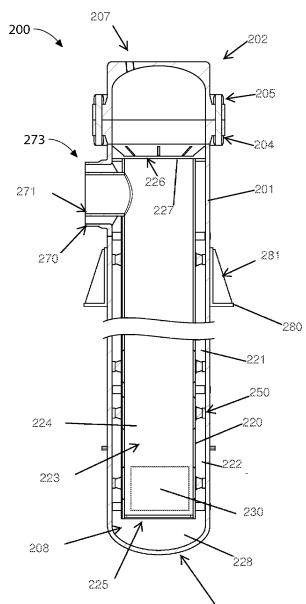


FIG. 3

【図4】

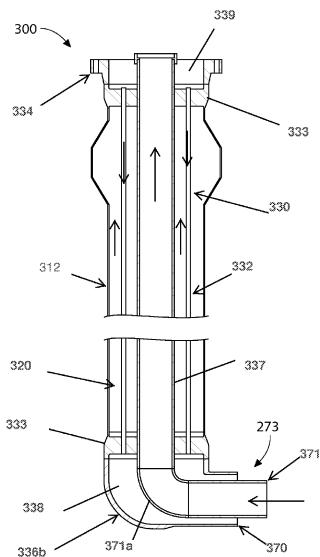


FIG. 4

【図5】

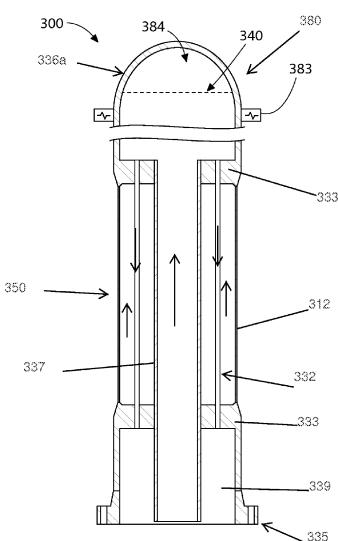


FIG. 5

【図6】

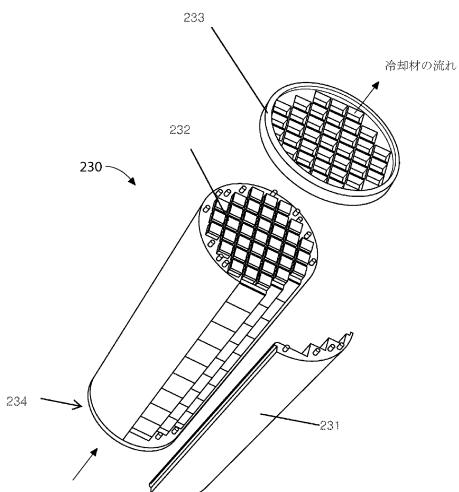


FIG. 6

【図7】

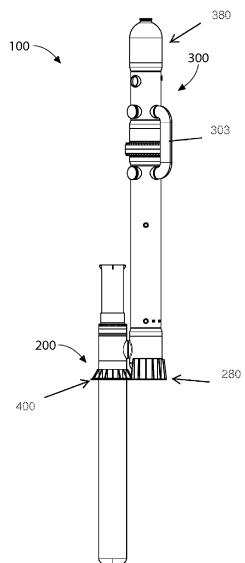


FIG. 7

【図8】

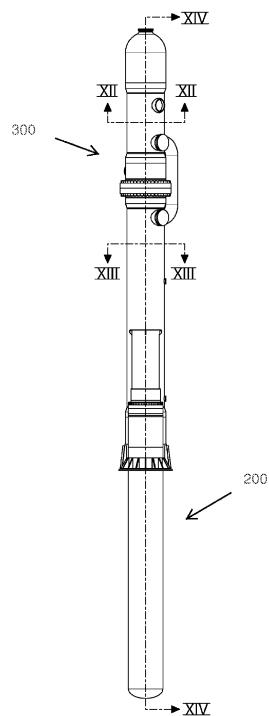


FIG. 8

【図9】

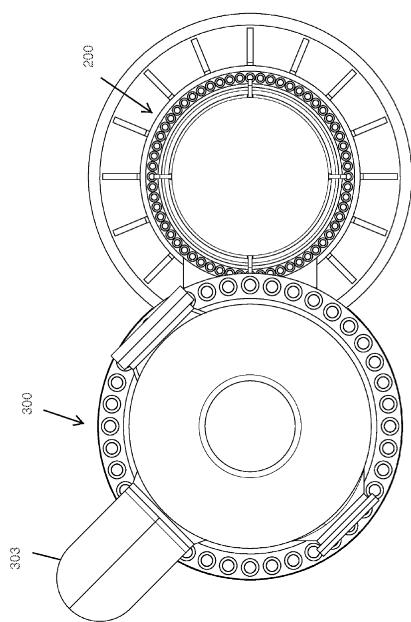


FIG. 9

【図10】

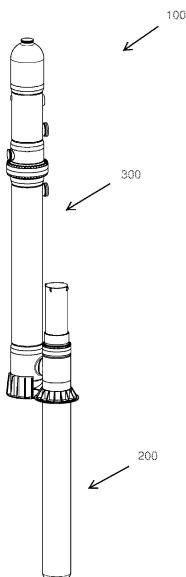


FIG. 10

【図11】

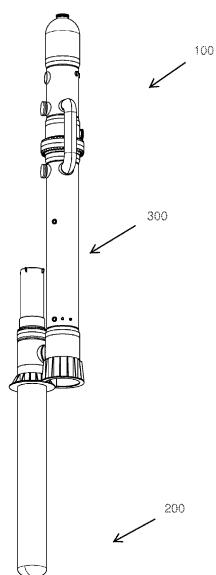


FIG. 11

【図12】

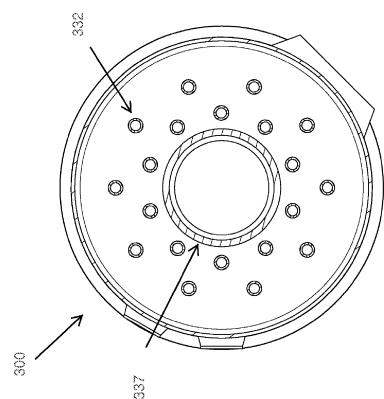


FIG. 12

【図13】

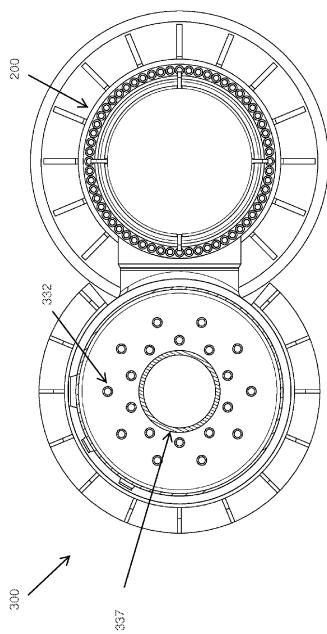


FIG. 13

【図14】

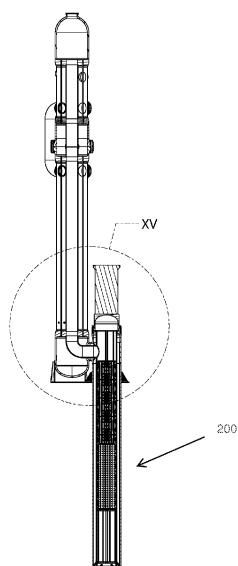


FIG. 14

【図15】

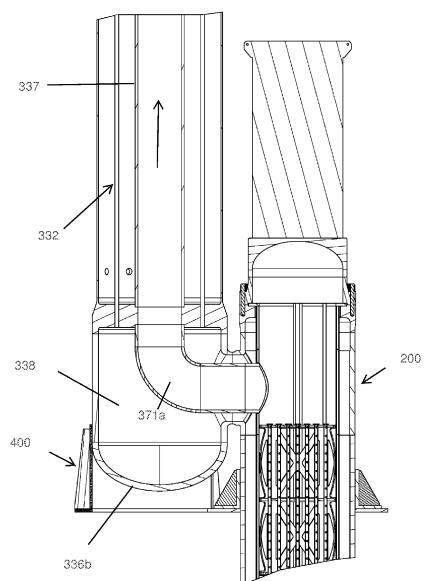


FIG. 15

フロントページの続き

(74)代理人 100137213
弁理士 安藤 健司
(74)代理人 100143823
弁理士 市川 英彦
(74)代理人 100151448
弁理士 青木 孝博
(74)代理人 100183519
弁理士 櫻田 芳恵
(74)代理人 100196483
弁理士 川崎 洋祐
(74)代理人 100203035
弁理士 五味渕 琢也
(74)代理人 100185959
弁理士 今藤 敏和
(74)代理人 100160749
弁理士 飯野 陽一
(74)代理人 100160255
弁理士 市川 祐輔
(74)代理人 100202267
弁理士 森山 正浩
(74)代理人 100146318
弁理士 岩瀬 吉和
(74)代理人 100127812
弁理士 城山 康文
(72)発明者 シン , クリシユナ , ピー
アメリカ合衆国、フロリダ・33455、ホーブ・サウンド、ゴメス・ロード・202
(72)発明者 ラジクマール , ジョセフ
アメリカ合衆国、ニュー・ジャージー・08053、マールトン、コネストガ・ドライブ・100
、アパートメント・202

審査官 南川 泰裕

(56)参考文献 特開2002-333288 (JP, A)
特開昭58-010675 (JP, A)
特開昭53-100397 (JP, A)
特開昭62-030996 (JP, A)
特開2005-274337 (JP, A)
特開平06-109202 (JP, A)
国際公開第2012/047438 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 21 C 15 / 00 - 15 / 28
G 21 D 1 / 00 - 9 / 00
F 22 B 1 / 16