(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6367023号
(P6367023)

(45)発行日　平成30年8月1日(2018.8.1)　(24)登録日　平成30年7月13日(2018.7.13)

(51)Int.Cl.		F I		
G21C 9/00	(2006.01)	G21C	9/00	100
G21C 9/004	(2006.01)	G21C	9/004	
G21C 15/18	(2006.01)	G21C	15/18	B
		G21C	15/18	R

請求項の数 16　(全 25 頁)

(21)出願番号　特願2014-138090 (P2014-138090)
(22)出願日　平成26年7月3日 (2014.7.3)
(65)公開番号　特開2016-14640 (P2016-14640A)
(43)公開日　平成28年1月28日 (2016.1.28)
審査請求日　平成29年2月23日 (2017.2.23)

(73)特許権者　000003078
株式会社東芝
東京都港区芝浦一丁目１番１号
(73)特許権者　317015294
東芝エネルギーシステムズ株式会社
神奈川県川崎市幸区堀川町７２番地３４
(74)代理人　110001092
特許業務法人サクラ国際特許事務所
(72)発明者　佐藤　崇
神奈川県横浜市磯子区新杉田町８番地　東芝原子力エンジニアリングサービス株式会社内
(72)発明者　松本　圭司
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】静的格納容器冷却フィルタベントシステムおよび原子力プラント

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
炉心と、
前記炉心を収容する原子炉圧力容器と、
前記原子炉圧力容器を収納するドライウェルと、前記ドライウェルとＬＯＣＡベント管を介して連結された圧力抑制プールを下部に収納し上部にウェットウェル気相部を有するウェットウェルと、前記ウェットウェル気相部内のガスを前記ドライウェルに環流する真空破壊弁と、を有する原子炉格納容器と、
前記原子炉格納容器内で前記原子炉圧力容器をＲＰＶスカートを介して支えてその内部にペデスタルキャビティを形成するペデスタルと、
を有する原子力プラントの静的格納容器冷却フィルタベントシステムであって、
前記ドライウェルと前記ウェットウェルの外部に設けられ前記ドライウェルとドライウェル共通部壁を介して隣接し前記ウェットウェルとウェットウェル共通部壁を介して隣接し前記ドライウェルおよび前記ウェットウェルと同等の耐圧性と気密性を有する外部ウェルと、
前記外部ウェル内に設けられ内部に水を蓄えたスクラビングプールと、
前記ドライウェルおよび前記外部ウェルの上部に設置されて冷却水を貯留する冷却水プールと、
入口プレナムと出口プレナムと伝熱管とを有し少なくとも一部が前記冷却水に水没した熱交換器と、

一端が前記熱交換器の前記入口プレナムに接続されもう一端が前記原子炉格納容器の気相部に接続されて前記原子炉格納容器内のガスを前記熱交換器に導くガス供給配管と、
一端が前記熱交換器の前記出口プレナムに接続され前記外部ウェル内を通りもう一端が前記原子炉格納容器内に接続されて前記熱交換器内の凝縮水を前記原子炉格納容器内に導く凝縮水戻り配管と、
一端が前記熱交換器の前記出口プレナムに接続され前記外部ウェル内を通りもう一端が前記外部ウェル内の前記スクラビングプール内に水没して設置され前記熱交換器内の非凝縮性ガスを前記外部ウェルに放出するガスベント配管と、
を備えたことを特徴とする静的格納容器冷却フィルタベントシステム。
【請求項２】
前記スクラビングプールの水面の上部に空間部を確保して設置された上蓋と、
一端が前記上蓋に接続しもう一端が前記外部ウェルの空間に開口して設けられた第１の出口配管と、
をさらに備えたことを特徴とする請求項１に記載の静的格納容器冷却フィルタベントシステム。
【請求項３】
前記第１の出口配管に接続するフィルタと、
一端が前記フィルタに接続し他端が前記外部ウェルに開口する第２の出口配管と、
をさらに備えたことを特徴とする請求項２に記載の静的格納容器冷却フィルタベントシステム。
【請求項４】
一端が前記圧力抑制プールに開口しもう一端が前記ペデスタルキャビティ内に開口する冠水配管と、
前記冠水配管のペデスタルキャビティ内の部分に設けられた冠水弁と、
前記冠水配管の圧力抑制プール内の部分に設けられた冠水逆止弁と、
をさらに備えた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静的格納容器冷却フィルタベントシステム。
【請求項５】
前記凝縮水戻り配管は、Ｕ字型に曲がり内部に水封水を蓄えた部分であるＵ字水封シールを有し、前記ドライウェル共通部壁を貫通してドライウェルに開口し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静的格納容器冷却フィルタベントシステム。
【請求項６】
前記凝縮水戻り配管の前記ドライウェル内の先端にスプレイ・スパージャをさらに備えたことを特徴とする請求項５に記載の静的格納容器冷却フィルタベントシステム。
【請求項７】
内部に水を蓄えて上部に気相部を有し前記外部ウェルの内部に設けられたＰＣＣＳドレンタンクと、
前記ＰＣＣＳドレンタンクの気相部と前記ドライウェルとを接続するオーバフロー配管と、
をさらに備え、
前記凝縮水戻り配管の一端が前記ＰＣＣＳドレンタンクの水の中に浸漬し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静的格納容器冷却フィルタベントシステム。
【請求項８】
前記オーバフロー配管の前記ドライウェル内の先端にスプレイ・スパージャをさらに備えたことを特徴とする請求項７に記載の静的格納容器冷却フィルタベントシステム。
【請求項９】
一端が前記ＰＣＣＳドレンタンクの水の水面よりも下部に接続し他端が前記ペデスタルキャビティ内に導かれる注水配管と、

前記注水配管上に設けられている注入弁と、
前記ＰＣＣＳドレンタンク内に設けられ内部に水を蓄えたドレン・ピットと、
をさらに備え、
前記凝縮水戻り配管の一端が前記ドレン・ピット内に浸漬していることを特徴とする請求項７または請求項８に記載の静的格納容器冷却フィルタベントシステム。
【請求項１０】
前記凝縮水戻り配管に凝縮水逆止弁をさらに設けた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静的格納容器冷却フィルタベントシステム。
【請求項１１】
前記ガス供給配管は、一端が前記熱交換器の前記入口プレナムに接続され前記外部ウェル内を通りもう一端が前記ドライウェル共通部壁の部分で前記ドライウェル内に接続されて、前記ドライウェル内のガスを前記熱交換器に導くことを特徴とする請求項１ないし請求項１０のいずれか一項に記載の静的格納容器冷却フィルタベントシステム。
【請求項１２】
前記ガス供給配管の前記ドライウェル内の部分にスクリーンをさらに備えたことを特徴とする請求項１ないし請求項１１のいずれか一項に記載の静的格納容器冷却フィルタベントシステム。
【請求項１３】
前記外部ウェル内に設けられたサイクロン・セパレータと、
前記ドライウェルとサイクロン・セパレータを連結し前記ドライウェル内のガスを前記サイクロン・セパレータに導く入口配管と、
をさらに備え、
前記ガス供給配管は、一端が前記サイクロン・セパレータの出口に接続し、前記サイクロン・セパレータから排出されたガスを前記熱交換器に導くことを特徴とする請求項１１に記載の静的格納容器冷却フィルタベントシステム。
【請求項１４】
前記ガス供給配管に設置されたガス供給隔離弁と、
一端が前記熱交換器の前記入口プレナムまたは前記ガス供給配管の前記入口プレナムと前記ガス供給隔離弁との間の部分に接続され前記外部ウェル内を通りもう一端が前記ウェットウェル共通部壁の部分で前記ウェットウェル気相部内に接続されて前記ウェットウェル内のガスを前記熱交換器に導くウェットウェル・ガス供給配管と、
をさらに備えることを特徴とする請求項１１ないし請求項１３のいずれか一項に記載の静的格納容器冷却フィルタベントシステム。
【請求項１５】
前記スクラビングプールは内部に除染水を蓄えたフィルタベント容器であり、前記ガスベント配管の先端はフィルタベント容器の入口配管に接続されフィルタベント容器は出口配管により前記外部ウェルの内部に開口していることを特徴とする請求項１４に記載の静的格納容器冷却フィルタベントシステム。
【請求項１６】
原子炉圧力容器を収納する原子炉格納容器と、
前記原子炉格納容器の外部に隣接して設けられ耐圧性および気密性を有する外部ウェルと、
前記外部ウェル内に設けられ内部に水を蓄えたスクラビングプールと、
前記原子炉格納容器および前記外部ウェルの上部に設置されて冷却水を貯留する冷却水プールと、
入口プレナムと出口プレナムと伝熱管とを有し少なくとも一部が前記冷却水に水没した熱交換器と、
一端が前記熱交換器の前記入口プレナムに接続されもう一端が前記原子炉格納容器の気相部に接続されて前記原子炉格納容器内のガスを前記熱交換器に導くガス供給配管と、
一端が前記熱交換器の前記出口プレナムに接続され前記外部ウェル内を通りもう一端が

前記原子炉格納容器内に接続されて前記熱交換器内の凝縮水を前記原子炉格納容器内に導く凝縮水戻り配管と、
一端が前記熱交換器の前記出口プレナムに接続されもう一端が前記外部ウェル内の前記スクラビングプール内に水没して設置され前記熱交換器内の非凝縮性ガスを前記外部ウェルに放出するガスベント配管と、
を備えたことを特徴とする原子力プラント。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明の実施形態は、原子力プラントの静的格納容器冷却フィルタベントシステムおよび原子力プラントに関する。
【背景技術】
【０００２】
従来の原子力プラントの静的格納容器冷却系について図１１から図１４によりその概要を説明する。
【０００３】
図１１は、従来の静的格納容器冷却系の構成の例を示す立断面図である。図１１において、炉心１は原子炉圧力容器２の内部に収納されている。原子炉圧力容器２は、原子炉格納容器３内に収納されている。原子炉格納容器３は円筒形状をしている（図１２を参照。）。
【０００４】
原子炉格納容器３の内部は、原子炉圧力容器２を収納するドライウェル４と、ウェットウェル５とに区分けされており、ドライウェル４とウェットウェル５とは原子炉格納容器３の一部を構成する。ウェットウェル５は内部に圧力抑制プール６を形成している。圧力抑制プール６の上方にはウェットウェル気相部７が形成されている。ドライウェル４とウェットウェル５の外壁部は一体化して原子炉格納容器３の円筒状の外壁部を構成している。ドライウェル４の天井部は平板になっておりこの部分をドライウェル４のトップスラブ４ａと呼ぶ。
【０００５】
原子炉格納容器３の雰囲気は、沸騰水型軽水炉の場合には、窒素により置換され酸素濃度を低く制限されている。また、沸騰水型軽水炉の場合には、原子炉格納容器３は原子炉建屋１００の内部に収納されている。
【０００６】
原子炉格納容器３は、一般にその材質により、鋼製原子炉格納容器、鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（ＲＣＣＶ）、プレストレスコンクリート製原子炉格納容器（ＰＣＣＶ）、スチール・コンクリート複合構造（ＳＣ造）原子炉格納容器（ＳＣＣＶ）など様々のものがある。ＲＣＣＶとＰＣＣＶの場合には内面に鋼製ライナが張られている。図１１ではＲＣＣＶの例を示している。図１２に示すように、ＲＣＣＶは外壁部分は円筒形状をしている。
【０００７】
原子炉圧力容器２は、ＲＰＶスカート６２およびＲＰＶサポート６３を介して、円筒状のペデスタル６１により支持されている。ペデスタル６１は、鋼製、コンクリート製、両者の複合構造等がある。ドライウェル４のうち原子炉圧力容器２の下方であって、ペデスタル６１の円筒状の壁により囲まれるペデスタル６１の内側の空間を、ペデスタルキャビティ６１ａという。ＡＢＷＲのＲＣＣＶの場合はペデスタル６１の円筒状の壁はウェットウェル５とドライウェル４の境界の壁を形成していて特にこの空間を下部ドライウェルと呼んでいる。
【０００８】
原子炉圧力容器２の上方に原子炉格納容器上蓋１０が配置され、その上方に水遮蔽１１が配置されている。

【０００９】
原子炉圧力容器２からは主蒸気配管７１がドライウェル４の外部に延びている。主蒸気配管７１には、逃がし安全弁（Ｓａｆｅｔｙ　Ｒｅｌｉｅｆ　Ｖａｌｖｅ、「ＳＲＶ」）７２が設けられており、逃がし安全弁７２が動作したときに圧力抑制プール６内に原子炉圧力容器２の蒸気が放出されるように、逃がし配管７３が圧力抑制プール６内に水没するように設けられている。
【００１０】
ドライウェル４と圧力抑制プール６はＬＯＣＡベント管８により連結されている。ＬＯＣＡベント管８はたとえば１０本など複数個設置されるが図１１では２本のみを表示している（図１２を参照）。ＬＯＣＡベント管８は圧力抑制プール６のプール水に水没している部分に水平ベント管８ａがありプール水中に開口している。ＲＣＣＶの場合は、水平ベント管８ａは一つのＬＯＣＡベント管８に縦方向に３本設置されている。また、ＲＣＣＶの場合はＬＯＣＡベント管８はペデスタル６１の円筒状の壁の内部を通って設置されている。そのためＲＣＣＶの場合は、このペデスタル６１の円筒状の壁をベント壁とも言う。ベント壁は厚さが約１．７ｍの鉄筋コンクリート製で内側と外側の表面は鋼製である。ＬＯＣＡベント管８とペデスタル６１は原子炉格納容器３の一部を構成する。
【００１１】
ウェットウェル気相部７内のガスをドライウェル４内に還流する目的で、真空破壊弁９が設けられている。真空破壊弁９はたとえば８個など複数個設置されるが、図１１では１個のみを表示している。
【００１２】
真空破壊弁９は、ウェットウェル５の壁面に設ける方法、ウェットウェル５の天井に設ける方法、ＬＯＣＡベント管８に設ける方法がある。真空破壊弁９は、ウェットウェル５内の圧力がドライウェル４内の圧力よりも高くなり、その差圧が設定圧力を超えると作動して開く。真空破壊弁９の設定圧は、たとえば約２ｐｓｉ（約１３．７９ｋＰａ）である。真空破壊弁９は、原子炉格納容器３の一部を構成する。
【００１３】
原子炉格納容器３の外部に、静的格納容器冷却系１２の冷却水プール１３が設けられ、内部に冷却水１４が蓄えられている。図１１では冷却水プール１３はタンク型の例を示しているがプール型のものもある。プール型の場合も上部は上蓋で覆われている。図１１では、冷却水プール１３等は原子炉建屋１００の内部に設置されている例を示しているが、隣接する補助建屋等の内部に設置される場合もある。
【００１４】
冷却水プール１３の水面の上方の気相部から、環境に蒸気を放出する排気口１５が設けられている。排気口１５の出口には虫よけのスクリーンが設けられることがある。冷却水プール１３の位置は、一般に原子炉格納容器３の上部に設けられているが、原子炉格納容器３の横に設けることもできる。
【００１５】
冷却水プール１３の内部には、冷却水１４に少なくとも一部が水没するように、熱交換器１６が設置されている。
【００１６】
熱交換器１６は複数個設置される場合が多いが、図１１では１基のみを表示してある。熱交換器１６は入口プレナム１７、出口プレナム１８および伝熱管１９を有する（図１３参照）。
【００１７】
図１１では、伝熱管１９のみが冷却水プール１３の内部に設置され、入口プレナム１７と出口プレナム１８（図１３）は冷却水プール１３の外部に突出している例を示しているが、この例には限定されない。たとえば、熱交換器１６全体が、入口プレナム１７と出口プレナム１８を含めて冷却水プール１３の内部に設置される例もある。
【００１８】

入口プレナム１７には、ドライウェル４内のガスを供給するガス供給配管２０が接続されている。ガス供給配管２０の一端はドライウェル４に接続されている。

【００１９】

出口プレナム１８には凝縮水戻り配管２１とガスベント配管２２が接続されている。凝縮水戻り配管２１の一端は原子炉格納容器３の内部に接続されている。図１１では一例としてＬＯＣＡベント管８の内部に導かれているが、この例には限定されない。ドライウェル４の内部に導く例や圧力抑制プール６に導く例もある。

【００２０】

しかし、ＬＯＣＡベント管８の内部に導く方法にはＬＯＣＡ時にＬＯＣＡベント管８の圧損を増加させるという課題がある。また、ドライウェル４に導く場合には水封のためにＰＣＣＳドレンタンクをドライウェル４内に設置する必要がありドライウェル４内のスペースに余裕がないと採用できないという課題がある。さらに、圧力抑制プール６に導く方法は凝縮水戻り配管２１のＰＣＶ外での長さが長くなり放射性物質の漏洩の可能性が増大するという課題がそれぞれある。

【００２１】

ガスベント配管２２は、その一端がウェットウェル５の内部に導かれ、圧力抑制プール６内に水没するように設置されている。ガスベント配管２２の圧力抑制プール６内の水没水深は、ＬＯＣＡベント管８の圧力抑制プール６内の開口部の最上端の水没水深よりも浅くなるように設置される。

【００２２】

図１３は、従来の静的格納容器冷却系の熱交換器の例を示す立断面図である。図１３により、従来の静的格納容器冷却系１２の熱交換器１６の構造について横型熱交換器の例で説明する。

【００２３】

図１３おいて、出口プレナム１８は、入口プレナム１７の下方に設けられている。多数のＵ字型の伝熱管１９が管板２３に接続し、伝熱管１９の直管部が水平に設置されている。図１３では簡略化して２本のみを表示している。伝熱管１９の外部には冷却水１４（図１１参照）が満たされている。伝熱管１９の入口は、入口プレナム１７に開口している。また、伝熱管１９の出口は出口プレナム１８に開口している。

【００２４】

入口プレナム１７にはガス供給配管２０が接続し、ドライウェル４内の窒素、水素、水蒸気等の混合ガスを入口プレナム１７に供給する。この混合ガスは伝熱管１９内に導かれ、水蒸気は凝縮して凝縮水となり、伝熱管１９の出口から出口プレナム１８内に流出し、出口プレナム１８内の下部に溜まる。

【００２５】

出口プレナム１８の下部には、凝縮水戻り配管２１が接続されていて、出口プレナム１８内の凝縮水を、重力により原子炉格納容器３の内部に還流する。また、出口プレナム１８の上部には、ガスベント配管２２が接続されている。伝熱管１９内で凝縮しない窒素、水素等の非凝縮性ガスは、伝熱管１９から排出され出口プレナム１８の上部に溜まる。

【００２６】

ガスベント配管２２の先端は、圧力抑制プール６に導かれていて、出口プレナム１８内の非凝縮性ガスは、ガスベント配管２２を通り圧力抑制プール６内のプール水を押し下げてプール水中にベントされた後、ウェットウェル気相部７に移行する。

【００２７】

なお、伝熱管１９の形状はＵ字型に限定されない。鉛直方向に直管部のある伝熱管１９を、縦型に設置する構造のものもある。入口プレナム１７は、必ず出口プレナム１８よりも上に位置する。これにより伝熱管１９内で凝縮した凝縮水を重力により出口プレナム１８に導く。横型の利点は耐震性に優れていることと、冷却水１４の有効活用ができることである。一方、縦型の利点は凝縮水の排出性が良いことである。

【００２８】

次に、このように構成された従来の静的格納容器冷却系１２の機能について説明する。
【００２９】
ドライウェル４内で配管が破断する冷却材喪失事故（ＬＯＣＡ）が発生すると、原子炉圧力容器２から水蒸気が発生してドライウェル４内の圧力が急上昇し、ドライウェル４内のガス（主に窒素と水蒸気）が、静的格納容器冷却系１２のガス供給配管２０を通り熱交換器１６に供給される。
【００３０】
熱交換器１６の出口プレナム１８内に溜まった非凝縮性ガスは、ガスベント配管２２を通り圧力抑制プール６内に排出される。この非凝縮性ガスの排出は、ドライウェル４とウェットウェル５との圧力差によって行なわれる。
【００３１】
ＬＯＣＡ時には、ドライウェル４内の圧力はウェットウェル５内の圧力よりも高いため、非凝縮性ガスの排出は円滑に行なわれる。その結果、しばらくするとドライウェル４内のガスはほとんど水蒸気だけになる。この状態になると、熱交換器１６はドライウェル４内の水蒸気を効率良く凝縮し、凝縮水を原子炉格納容器３内に還流することができる。
【００３２】
なお、ＬＯＣＡ発生直後は、冷却材から大量の蒸気が発生し、ドライウェル４内のガスのウェットウェル５への急激なベントは、主にＬＯＣＡベント管８を通り行なわれる。
【００３３】
水蒸気は圧力抑制プール６内で凝縮し、非凝縮性の窒素は圧力抑制プール６内では凝縮せずにウェットウェル気相部７に移行する。このＬＯＣＡベント管８からの急激なベントにより、ドライウェル４内の窒素はたとえばＬＯＣＡ後１分程度でほとんどウェットウェル５に移行してしまう。
【００３４】
その後はベント流量が少なくなり、ガスベント配管２２の圧力抑制プール６内の水没水深は、ＬＯＣＡベント管８の水没水深よりも浅く設定されているので、ドライウェル４内のガスはＬＯＣＡ後しばらくするとガスベント配管２２を経由してウェットウェル５にベントされるようになる。
【００３５】
このように、ベント流量が静定し、炉心燃料の崩壊熱に応じて発生する水蒸気はＬＯＣＡの破断口からドライウェル４に放出され、ＬＯＣＡベント管８ではなくガス供給配管２０から熱交換器１６に導かれて冷却される設計になっている。
【００３６】
その結果、炉心燃料の崩壊熱は、外部の冷却水１４に伝熱されるので、圧力抑制プール６の水が高温化して原子炉格納容器３の圧力が高くなることを防止することができる。静的格納容器冷却系１２は、このように外部動力を一切使用せずに、原子炉格納容器３を静的に冷却できるように設計されている。
【００３７】
次に、全交流電源喪失（Ｓｔａｔｉｏｎ　Ｂｌａｃｋｏｕｔ、以下「ＳＢＯ」ともいう。）等の過渡事象が発生した場合は、炉心で発生した崩壊熱は炉蒸気により逃がし安全弁７２を通り圧力抑制プール６に導かれる。炉蒸気が圧力抑制プール６で凝縮することにより崩壊熱はプール水に伝達されプール水の温度が徐々に上昇する。一定時間が経過すると、プール水が飽和になり崩壊熱相当の蒸気がウェットウェル気相部７に連続的に流入しウェットウェル気相部７を加圧する。これにより真空破壊弁９が作動して、ウェットウェル気相部７内の窒素と蒸気はドライウェル４内に流入する。これによりドライウェル４が加圧されドライウェル４内の窒素と蒸気がガス供給配管２０により静的格納容器冷却系１２の熱交換器１６に導かれて、蒸気は凝縮する。
【００３８】
しかし、非凝縮性ガスである窒素はそのまま熱交換器１６の内部に滞留するため静的格納容器冷却系１２は機能を停止してしまう。ガスベント配管２２が熱交換器１６から圧力

抑制プール６に導かれているが、ＳＢＯ時にはウェットウェル気相部７の圧力が上昇するため熱交換器１６内の非凝縮性ガスをウェットウェル気相部７にベントできないためである。

【００３９】

このような課題を解決するために特許文献１においては、ドライウェル４およびウェットウェル５の外部に外部ウェル３２を設けてその中に蓄えられた水封プールの内部にガスベント配管２２を導き、熱交換器１６内に滞留した非凝縮性ガスを外部ウェル３２内に放出する方法が開示されている（特許文献１の図２を参照）。ここで外部ウェル３２内は窒素で置換されているため仮に水素がベントされた場合でも爆轟を防止できるように配慮されている。

【００４０】

また、特許文献２では、ガス供給配管２０をウェットウェル気相部７に接続してウェットウェル気相部７内の蒸気と窒素を直接熱交換器１６に導き、熱交換器内に滞留した窒素等の非凝縮性ガスをガスベント配管２２上に設けた排気ファン２４を用いてドライウェル４内に排出する方法が開示されている（特許文献２の図２を参照）。なお、いずれの場合にもガス供給配管２０、凝縮水戻り配管２１、ガスベント配管２２は原子炉格納容器３の外部に設置されている。

【００４１】

さらに、全交流電源喪失（ＳＢＯ）等の過渡事象発生時に炉心溶融に至った場合に備えて、欧米に建設されるＡＢＷＲでは、ペデスタルキャビティ６１ａの内部に、溶融弁６４とＬＯＣＡベント管８からペデスタル６１の壁を貫通し溶融弁６４に接続する下部ドライウェル冠水配管６５が設けられている。この溶融弁６４と下部ドライウェル冠水配管６５はＬＯＣＡベント管８の全てに設置されている。溶融弁６４は、下部ドライウェル６１ａの温度が約２６０℃に達すると、低融点のプラグ部分が溶融して開になる。炉心溶融事故時には、炉心溶融物が原子炉圧力容器２の底部を溶融貫通してペデスタルキャビティ６１ａ内に落下する。これによりペデスタルキャビティ６１ａ内の温度が急激に上昇すると、溶融弁６４が開になり、ＬＯＣＡベント管８内の冷却水が下部ドライウェル冠水配管６５を通りペデスタルキャビティ６１ａ内に流入して炉心溶融物を冠水して冷却する。

【００４２】

溶融弁６４と同じ用途で、落下して来た高温の炉心溶融物に水をかけるための弁として、他に爆破弁とバネ式弁がある。ＥＳＢＷＲ（Economic Simplified Boiling Water Reactor：高経済性単純化沸騰水型原子炉）は爆破弁を用いている。また、ＥＰＲ（European Pressure Reactor：欧州加圧水型炉）はバネ式弁を用いている。その際に発生する大量の蒸気は、ＬＯＣＡベント管８の開口部６６から上部ドライウェルに流入し、さらにガス供給配管２０を通り、静的格納容器冷却系１２の熱交換器１６に導かれて凝縮する。この際熱交換器１６内に滞留する非凝縮性ガスは、ガスベント配管２２でウェットウェル５内にベントされる。この状態ではドライウェル４内の圧力の方がウェットウェル５内の圧力よりも高いため、非凝縮性ガスは効率よくウェットウェル気相部７にベントされる。凝縮水は、凝縮水戻り配管２１でＬＯＣＡベント管８に戻され再び下部ドライウェル冠水配管６５を通り炉心溶融物の冷却に使用される。

【００４３】

また、ＬＯＣＡベント管８内のプール水は、水平ベント管８ａを通り圧力抑制プール６からも供給されている。

【００４４】

上記の溶融弁６４と下部ドライウェル冠水配管６５には、溶融弁６４が開になった後に、ドライウェル４内の圧力が上昇すると下部ドライウェル６１ａ内に溜まった高温水が圧力抑制プール６内に逆流し圧力抑制プール水を高温化させるという課題があった。この逆流防止対策を実施することは、下部ドライウェル冠水配管６５の下部ドライウェル６１ａの部分は事故時には高温になり機器の作動を期待することができず、ＬＯＣＡベント管８内の部分はベント管の安全機能の妨げとなることから機器を設置することが困難であり、

対策の実施は困難であった。

【００４５】

また、特許文献２の図４では、熱交換器１６で凝縮された凝縮水を凝縮水戻り配管２１によりＰＣＣＳドレンタンク７６に導く方法が開示されている。さらに、ＰＣＣＳドレンタンク７６の気相部にはオーバフロー配管７７が設けられ、原子炉格納容器３内にオーバフロー水を戻すことが開示されている。しかし、ここで凝縮水戻り配管２１、ＰＣＣＳドレンタンク７６、オーバフロー配管７７はいずれも原子炉格納容器３の外部に設置されるためこれらの機器から放射性物質が外部の環境に漏洩する恐れがある。

【００４６】

特許文献３では、ＰＣＣＳドレンタンクをドライウェル内に設けＰＣＣＳドレンタンク内の冷却水を注水配管を用いて原子炉格納容器内に重力により注水する方法が開示されている。しかし、この方法では、ＰＣＣＳドレンタンクはドライウェル内に設置するため、ＡＢＷＲに供されるＲＣＣＶの場合には既にスペースの余裕がなく、この方法を実施することが不可能であった。

【００４７】

次に、従来のフィルタベントシステムについて、図１４により説明する。フィルタベントシステム５０は、チェルノビル原子力発電所の事故の後、欧州の原子力プラントで採用されている。

【００４８】

図１４は、従来のフィルタベントシステムの設計例を示す立断面図である。フィルタベントシステム５０は、除染水５２を蓄えたフィルタベント容器５１と、原子炉格納容器３内のガスを除染水５２に導く入口配管５３と、フィルタベント容器５１の気相部のガスを環境に放出する出口配管５４とを有する。出口配管５４の上部は排気塔７５内を通っている。

【００４９】

フィルタベント容器５１等の設置場所は建屋内に限定されない。フィルタベント容器５１等は、既設炉に後から設置される場合は、原子炉建屋の外部に設置されることが多い。一方、建設当初から設置する場合は原子炉建屋等の内部に設置されることもある。

【００５０】

除染水５２の内部にベンチュリスクラッバ５５を設置し、入口配管５３から導かれるガスをベンチュリスクラッバ５５に通すタイプのものがあるが、ベンチュリスクラッバ５５は必須ではない。また、フィルタベント容器５１の気相部に金属ファイバフィルタ５６を設置するタイプのものがあるが、金属ファイバフィルタ５６は必須ではない。

【００５１】

図１４では、ベンチュリスクラッバ５５と金属ファイバフィルタ５６の両方を設けた場合について示している。入口配管５３には、一例として、隔離弁５７が１個、また、これと並列にラプチャディスク５８が、また、ラプチャディスク５８の前後に常時開の隔離弁５９ａ、５９ｂが設置されている。隔離弁５７は、２個が直列に接続されていてもよい。

【００５２】

また、出口配管５４には出口弁６０が設置されているが必須ではない。電動弁の代わりにラプチャディスクを用いることも多い。従来のフィルタベントシステムでは、入口配管５３は、原子炉格納容器３内のガスを取入れるため、一端が原子炉格納容器３に直接接続されている。フィルタベントシステムは、ＣｓＩ等の粒子状放射性物質はＤＦ（Decontamination Factor：除染係数）１０００～１００００程度で効率良く除去できるが放射性希ガスと有機ヨウ素は除去できないため、作動時にはこれらの放射性物質が出口配管５４を通り環境に放出される。

【００５３】

従来のフィルタベントシステムのフィルタベント容器５１は大きさに制限があり、除染水（スクラビング水）の容量は１００ｍ^{3}以下のものが多い。このため放射性物質を除去するとその発熱により除染水５２が蒸発して失われていく。したがって、実際の過酷事故

時には除染水を外部から補給する必要があった。
【００５４】
紛体分離器として、Ｍ．Ｏ．Ｍｏｒｓｅ（１８８６）によるサイクロン・セパレータがあり、製材所や石油精製施設等で一般に広く使用されている。サイクロン・セパレータは遠心分離器の原理を応用したものである。固体の混じった液体、気体を漏斗状または円筒のサイクロンの円周方向から気体、液体の流速により渦を描く様に流し込む。この際、気体、液体の排出方向はサイクロンの円の中心から上方向に排出する。固体は、遠心分離され、壁面に衝突しその後重力により落下、下に溜まる仕組みである。気体、液体は円の中心から排出されるため、固体成分の多くが除去されたものとなる。分離された個体を回収するために、サイクロンの下部に回収容器を設けているものが多い。サイクロン・セパレータは、入口から流入する流体の速度が大きいほど遠心力が大きくなり除去効率が向上する。
【先行技術文献】
【特許文献】
【００５５】
【特許文献１】特開２０１４－１００８０号公報
【特許文献２】特開２０１４－８１２１９号公報
【特許文献３】特開２００４－３３３３５７号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【００５６】
従来の静的格納容器冷却系は熱交換器は冷却水プールの内部に水没して設置されているが、それ以外の配管や機器は原子炉格納容器の外部に設置されている。全ての配管や機器を原子炉格納容器の内部に設置しようとすると原子炉格納容器が大型化してしまう。ＡＢＷＲの小型のＲＣＣＶの内部に配管や機器を設置することは困難であった。そのため、原子炉格納容器を冷却するために配管や機器を原子炉格納容器の外部に設置することにより、配管や機器部分からの放射性物質の漏洩の可能性があった。
【００５７】
特に、凝縮水には放射性のヨウ化セシウム（ＣｓＩ）が濃縮されるため、凝縮水を内蔵する凝縮水戻り配管およびＰＣＣＳドレンタンクから凝縮水が漏洩すると放射能の漏洩量が多くなる恐れがあった。
【００５８】
また、ガスベント配管には放射性希ガスや有機ヨウ素や水素が多く含まれるため、ガスベント配管が原子炉格納容器の外部に設置されると、より多くの放射性物質および水素が漏洩する恐れがあった。このため水素の爆轟が発生する恐れがあった。さらに、ガスベント配管にはＣｓＩも含まれるためガスベント配管の排出先をドライウェルおよびウェットウェルの外部とする場合にはＣｓＩを確実に除去する必要がある。
【００５９】
このように従来の静的格納容器冷却系には原子炉格納容器を冷却する機能はあるが、放射性物資および水素の漏洩を抑制する機能は十分ではないという課題があった。
【００６０】
また、従来の静的格納容器冷却系では、全交流電源喪失（ＳＢＯ）時等にウェットウェルの圧力が上昇する事象に対して、ウェットウェル気相部からガスを直接吸引する方法では、非凝縮性ガスをベントするために動力電源を使用する排気ファンが必要になり、ＳＢＯ時にも機能できるという静的安全系としての利点を減じてしまうという課題があった。
【００６１】
また、従来の静的格納容器冷却系では、ガス供給配管２０はドライウェル４内に常時開口しているため、ＬＯＣＡ時の急激なブローダウン時にドライウェル４内に飛散する断熱材の破片等のルースパーツが熱交換器１６の内部に吸引されて伝熱管１９を目詰まりさせる恐れがあった。

【００６２】
また、従来のフィルタベントシステムはＣｓＩ等の粒子状放射性物質は効率良く除去できるが大量の放射性希ガスと有機ヨウ素を環境に放出するという特徴があった。このためＣｓＩによる土地汚染は防止できるものの、住民の避難を完了してからでないとベントを実施できないという課題があった。
【００６３】
また、従来の圧力抑制型の原子炉格納容器は小型化されていて効率の良い設計となっている。その一方で、過酷事故時に燃料被覆管の酸化により大量の水素が発生すると、原子炉格納容器の圧力が設計圧力を超えて上昇するということがある。水素は水蒸気と違い非凝縮性であるため、圧力抑制プールによっても、また、静的格納容器冷却系によっても取り除くことができないからである。その場合には一部の水素が原子炉格納容器から漏洩して外部で爆轟する恐れがあった。
【００６４】
また、フィルタベントシステム５０を作動させた場合は、原子炉格納容器３内のガスはフィルタベント容器５１に排出されるので、静的格納容器冷却系１２のガス供給配管２０は、原子炉格納容器３内のガスを熱交換器１６に供給できなくなってしまう。
【００６５】
そのため、凝縮水を原子炉格納容器３内に還流することができず、外部水源から原子炉格納容器３内に注水を継続する必要がある。たとえば巨大な津波によって残留熱除去系が回復不可能な状態になった場合は、長期間にわたって外部水源からの注水を継続する必要がある。一方、フィルタベントシステムを作動させずに静的格納容器冷却系だけを作動させた場合には、原子炉格納容器３内の放射性物質が除去されずに設計漏えい率で環境に原子炉格納容器３から漏洩するという課題があった。静的格納容器冷却系には、全交流電源喪失（ＳＢＯ）によって炉心溶融に至った場合でも動的な格納容器スプレイ系とは異なり原子炉格納容器３の冷却を実施できるという優れた利点はあるが、動的な格納容器スプレイ系の有する原子炉格納容器３内の放射性物質を除去する機能はないという課題があった。
【００６６】
したがって、放射性物質を除去するためにフィルタベントシステム５０を作動させた場合であっても、外部水源からの注水を不要にするため、静的格納容器冷却系１２による原子炉格納容器３の冷却を可能にすることが重要な課題である。
【００６７】
そこで、本発明の実施形態は、全交流電源喪失（ＳＢＯ）等により炉心溶融を伴う過酷事故が発生した場合であっても、放射性物質の漏洩を抑制しつつ原子炉格納容器の冷却を行うことができる静的格納容器冷却フィルタベントシステムおよび原子力プラント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】
【００６８】
本発明の実施形態による静的格納容器冷却フィルタベントシステムは、炉心と、前記炉心を収容する原子炉圧力容器と、前記原子炉圧力容器を収納するドライウェルと、前記ドライウェルとＬＯＣＡベント管を介して連結された圧力抑制プールを下部に収納し上部にウェットウェル気相部を有するウェットウェルと、前記ウェットウェル気相部内のガスを前記ドライウェルに環流する真空破壊弁と、を有する原子炉格納容器と、前記原子炉格納容器内で前記原子炉圧力容器をＲＰＶスカートを介して支えてその内部にペデスタルキャビティを形成するペデスタルと、を有する原子力プラントの静的格納容器冷却フィルタベントシステムであって、前記ドライウェルと前記ウェットウェルの外部に設けられ前記ドライウェルとドライウェル共通部壁を介して隣接し前記ウェットウェルとウェットウェル共通部壁を介して隣接し前記ドライウェルおよび前記ウェットウェルと同等の耐圧性と気密性を有する外部ウェルと、前記外部ウェル内に設けられ内部に水を蓄えたスクラビングプールと、前記ドライウェルおよび前記外部ウェルの上部に設置されて冷却水を貯留する

冷却水プールと、入口プレナムと出口プレナムと伝熱管とを有し少なくとも一部が前記冷却水に水没した熱交換器と、一端が前記熱交換器の前記入口プレナムに接続されもう一端が前記原子炉格納容器の気相部に接続されて前記原子炉格納容器内のガスを前記熱交換器に導くガス供給配管と、一端が前記熱交換器の前記出口プレナムに接続され前記外部ウェル内を通りもう一端が前記原子炉格納容器内に接続されて前記熱交換器内の凝縮水を前記原子炉格納容器内に導く凝縮水戻り配管と、一端が前記熱交換器の前記出口プレナムに接続され前記外部ウェル内を通りもう一端が前記外部ウェル内の前記スクラビングプール内に水没して設置され前記熱交換器内の非凝縮性ガスを前記外部ウェルに放出するガスベント配管と、を備えたことを特徴とする。

【００６９】

また、本発明の実施形態による原子力プラントは、原子炉圧力容器を収納する原子炉格納容器と、前記原子炉格納容器の外部に隣接して設けられ耐圧性および気密性を有する外部ウェルと、前記外部ウェル内に設けられ内部に水を蓄えたスクラビングプールと、前記原子炉格納容器および前記外部ウェルの上部に設置されて冷却水を貯留する冷却水プールと、入口プレナムと出口プレナムと伝熱管とを有し少なくとも一部が前記冷却水に水没した熱交換器と、一端が前記熱交換器の前記入口プレナムに接続されもう一端が前記原子炉格納容器の気相部に接続されて前記原子炉格納容器内のガスを前記熱交換器に導くガス供給配管と、一端が前記熱交換器の前記出口プレナムに接続され前記外部ウェル内を通りもう一端が前記原子炉格納容器内に接続されて前記熱交換器内の凝縮水を前記原子炉格納容器内に導く凝縮水戻り配管と、一端が前記熱交換器の前記出口プレナムに接続されもう一端が前記外部ウェル内の前記スクラビングプール内に水没して設置され前記熱交換器内の非凝縮性ガスを前記外部ウェルに放出するガスベント配管と、を備えたことを特徴とする。

【発明の効果】

【００７０】

本発明の実施形態によれば、全交流電源喪失（ＳＢＯ）等により炉心溶融を伴う過酷事故が発生した場合であっても、放射性物質の漏洩を抑制しつつ原子炉格納容器の冷却を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【００７１】

【図１】本発明の第１の実施形態に係わる原子力プラントの原子炉格納容器まわりの構成を示す立断面図である。

【図２】本発明の第１の実施形態に係わる原子力プラントの原子炉格納容器まわりの構成を示す平面図である。

【図３】本発明の第１の実施形態に係わる原子力プラントのスクラビングプール周りの構成を示す立断面図である。

【図４】本発明の第２の実施形態に係わる原子力プラントの原子炉格納容器まわりの構成を示す立断面図である。

【図５】本発明の第３の実施形態に係わる原子力プラントの原子炉格納容器まわりの構成を示す立断面図である。

【図６】本発明の第４の実施形態に係わる原子力プラントの原子炉格納容器まわりの構成を示す立断面図である。

【図７】本発明の第５の実施形態に係わる原子力プラントの原子炉格納容器まわりの構成を示す立断面図である。

【図８】本発明の第６の実施形態に係わる原子力プラントの原子炉格納容器まわりの構成を示す立断面図である。

【図９】本発明の第７の実施形態に係わる原子力プラントの原子炉格納容器まわりの構成を示す立断面図である。

【図１０】本発明の第８の実施形態に係わる原子力プラントの原子炉格納容器まわりの構成を示す立断面図である。

【図１１】従来の静的格納容器冷却系と原子炉格納容器の構成の例を示す立断面図である。
【図１２】従来の原子炉格納容器と下部ドライウェル冠水系の構成の例を示す平面図である。
【図１３】従来の静的格納容器冷却系の熱交換器の例を示す立断面図である。
【図１４】従来のフィルタベントシステムの設計例を示す立断面図である。
【発明を実施するための形態】
【００７２】
以下、図１～図１０を参照して本発明の実施形態に係る静的格納容器冷却フィルタベントシステムおよびこれを用いた原子力プラントについて説明する。ここで、前述の従来技術と同一または類似の部分について、また下記の実施形態どうしで同一または類似の部分については、共通の符号を付して、重複説明は省略し要部のみを説明する。
【００７３】
［第１の実施形態］
図１は、本発明の第１の実施形態に係わる静的格納容器冷却フィルタベントシステムの原子炉格納容器まわりの構成を示す立断面図である。また、図２は、本発明の第１の実施形態に係わる原子力プラントの原子炉格納容器まわりの構成を示す平面図である。図１および図２に示す実施形態は、ＲＣＣＶと呼ばれる原子炉格納容器を使用しているが、原子炉格納容器の型式はＲＣＣＶに限定されない。圧力抑制プールによる圧力抑制機能を持つ全ての圧力抑制型の原子炉格納容器に普遍的に適用される。また、材質もＳＣ造や鋼製など他のものも使用可能である。
【００７４】
図１において、炉心１は原子炉圧力容器２の内部に収納されている。原子炉圧力容器２は、原子炉格納容器３内に収納されている。原子炉格納容器３は円筒形状をしている（図２を参照）。
【００７５】
原子炉格納容器３の内部は、原子炉圧力容器２を収納するドライウェル４と、ウェットウェル５とに区分けされており、ドライウェル４とウェットウェル５とは原子炉格納容器３の一部を構成する。ウェットウェル５は内部に圧力抑制プール６を形成している。圧力抑制プール６の上方にはウェットウェル気相部７が形成されている。ドライウェル４とウェットウェル５の外壁部は一体化して原子炉格納容器３の円筒状の外壁部を構成している。ドライウェル４の天井部は平板になっておりこの部分をドライウェル４のトップスラブ４ａと呼ぶ。原子炉格納容器３内の雰囲気は窒素で置換する。
【００７６】
本実施形態においては、さらに、ドライウェル４とウェットウェル５の外部に外部ウェル３２を設ける。外部ウェル３２はドライウェル共通部壁４ｂを介してドライウェル４と隣接し、ウェットウェル共通部壁５ａを介してウェットウェル５と隣接している。外部ウェル３２の天井部は平板でこの部分を外部ウェル３２のトップスラブ３２ａと呼ぶ。外部ウェル３２内の雰囲気は窒素で置換する。外部ウェル３２はドライウェル４およびウェットウェル５と同等の耐圧性と気密性を有する。
【００７７】
外部ウェル３２の材質は、鉄筋コンクリート製（ＲＣ）、ＳＣ造、鋼製など原子炉格納容器３と同じもの全てが使用可能である。鉄筋コンクリート製の場合は、原子炉格納容器３と同様に内面にライナが敷設される。図２に示すように、本実施形態における外部ウェル３２の平面形状は矩形でドライウェル４およびウェットウェル５の外壁の一部を囲むように構成されているが、外部ウェル３２の平面形状はこれに限定されない。ドライウェル４およびウェットウェル５の外壁の少なくとも一部を囲むように隣接していれば任意の形状で良い。たとえば、台形、多角形、三日月型、部分的な円環形、完全な円環形などがある。
【００７８】

さらに、外部ウェル３２内に内部に水を貯えたスクラビングプール３３を設け、上部を上蓋３３ａで覆う（図３参照）。上蓋３３ａとプール水の間には空間３３ｂを設ける。上蓋３３ａの上部に空間３３ｂに開口した第１の出口配管３３ｃを設ける。第１の出口配管３３ｃの一端に金属ファイバフィルタ（フィルタ）３４を接続して設ける。さらに、金属ファイバフィルタ３４に接続して他端が外部ウェル３２の内部に開口する第２の出口配管３４ａを設ける。

【００７９】

図３に、スクラビングプール３３と金属ファイバフィルタ３４周りの詳細な構成を示す。空間３３ｂはガスベント配管２２からドライウェル４内のガスがベントされる際に水位上昇が発生した場合に必要となる。また、上蓋３３ａは地震時のスロッシングで水が流出することを防止するために必要である。

【００８０】

金属ファイバフィルタ３４は、図では１個のみを表示しているが複数個設置することもある。たとえば、ＰＣＣＳの熱交換器１６を４基設置し、ガスベント配管２２を４本設置し、金属ファイバフィルタ３４を４基設置する。あるいは、ＰＣＣＳの熱交換器１６を４基設置し、ガスベント配管２２を２本に統合し、金属ファイバフィルタ３４を２基設置するなどが考えられる。スクラビングプール３３、上蓋３３ａ、空間３３ｂは一体化したタンクとしても良い。

【００８１】

図１に示すように、原子炉格納容器３および外部ウェル３２の上部に冷却水プール１３が設けられ、内部に冷却水１４を蓄えている。冷却水プール１３はプール型とタンク型のいずれでも良い。図１ではプール型のものを表示している。プール型の場合は上部を上蓋で覆う。また、冷却水プール１３の上部の気相部分には環境へ蒸気を放出する排気口１５が設けられている。

【００８２】

冷却水プール１３内には熱交換器１６が設置されている。熱交換器１６の少なくも一部は冷却水１４に水没するように設置される。本実施形態では、熱交換器１６は冷却水１４に完全に水没するように設置される例を示している。熱交換器１６の入口プレナム１７にはガス供給配管２０が接続されている。本実施形態では、ガス供給配管２０の他端は、原子炉格納容器３のトップスラブ３２ａを貫通してドライウェル４内に開口している。

【００８３】

また、熱交換器１６の出口プレナム１８の下部に凝縮水戻り配管２１が接続されている。凝縮水戻り配管２１は、外部ウェル３２のトップスラブ３２ａを貫通して外部ウェル３２の内部を通り、先端がウェットウェル５の内部の圧力抑制プール６に浸漬するように設置されている。このように凝縮水戻り配管２１は外部ウェル３２の内部を通るように設置されるので、凝縮水が漏洩してＣｓＩ等の放射性物質が直接環境に放出されない構造となっている。

【００８４】

ドライウェル４内の雰囲気には炉心溶融事故が発生した場合には、ＣｓＩ等の粒子状放射性物質が大量に含まれているが、熱交換器１６で蒸気が凝縮する際にＣｓＩ等の粒子状放射性物質は凝縮水にほとんど移行する。そのＣｓＩを大量に含んだ凝縮水は凝縮水戻り配管２１により圧力抑制プール６のプール水に還流し保持されるので、本実施形態の静的格納容器冷却フィルタベントシステムは、原子炉格納容器３内に浮遊する粒子状放射性物質を静的に除去するように構成されている。

【００８５】

したがって、本実施形態では、全交流電源喪失（ＳＢＯ）により炉心溶融事故に至った場合であっても、あたかも動的な格納容器スプレイにより粒子状放射性物資を除去して圧力抑制プール６のプール水に還流しているのと同等の効果が得られる。また、凝縮水戻り配管２１はＬＯＣＡベント管８の内部に設置しないのでＬＯＣＡ時にＬＯＣＡベント管の圧損を増大させることがない構造となっている。

【００８６】
さらに、熱交換器１６の出口プレナム１８の上部にはガスベント配管２２が接続されている。ガスベント配管２２は外部ウェル３２のトップスラブ３２ａを貫通して外部ウェル３２の内部を通り、先端はさらにスクラビングプール３３のプール水の中に浸漬して設置されている。このようにガスベント配管２２は外部ウェル３２の内部を通るように設置されるので、ガスが漏洩して放射性希ガス、有機ヨウ素、ＣｓＩ等の放射性物質が直接環境に放出されない構造となっている。この内、ＣｓＩ等の粒子状放射性物質は、スクラビングプール３３のプール水で除去され、さらに、金属ファイバフィルタ３４により水滴等にキャリーオーバされたものも除去される構成になっている。
【００８７】
これにより、ＣｓＩ等の粒子状放射性物質が環境に放出されて土地が汚染され周辺住民の方達に長期間の移住をしていただく必要性を削除することが可能となっている。また、放射性希ガスと有機ヨウ素は第２の出口配管３４ａから外部ウェル３２の内部に放出され外部ウェル３２の内部に保持される。これにより従来のフィルタベントシステムが作動時に放射性希ガスと有機ヨウ素を環境に直接放出するため、事前に周辺住民の方達に緊急避難をしていただいたりヨウ素剤を服用していただいたりする必要性を削除することが可能になっている。
【００８８】
また、本実施形態では、過酷事故時に大量に発生する水素についても、ガスベント配管２２により外部ウェル３２の内部に放出されるため、ドライウェル４およびウェットウェル５の過酷事故時の圧力を十分低く保つことが可能である。外部ウェル３２の内部の雰囲気は窒素で置換されているので、大量の水素が閉じ込められても爆轟することがない。
【００８９】
また、本実施形態では、下部ドライウェルを冠水するためにペデスタル６１の壁を貫通し一端が下部ドライウェル（ペデスタルキャビティ）６１ａ内に導かれ他端が圧力抑制プール６内に開口する冠水配管６８を設ける。冠水配管６８の下部ドライウェル６１ａ内の部分には冠水弁６７を設ける。また、冠水配管６８の圧力抑制プール６内の部分には逆止弁（冠水逆止弁）６９を設ける。逆止弁６９を設けたことでドライウェル４内の圧力が上昇した場合でも下部ドライウェル６１ａ内の高温水が圧力抑制プール６に逆流することを防止できる。また、逆止弁６９は圧力抑制プール６内にあるのでＬＯＣＡベント管８の事故時の安全機能を妨げることがない。冠水配管６８の設置位置はＬＯＣＡベント管８と重ならないようにたとえば、ＬＯＣＡベント管とＬＯＣＡベント管の中間の位置として全体で１０個設置する（図２を参照）。
【００９０】
冠水弁６７は従来と同じ溶融弁を使用することが可能である。しかし、溶融弁以外にもＳＢＯ時に作動用電源を必要としないものは全て使用可能である。たとえば、爆破弁は作動に火薬を使用するので採用可能である。また、バネ式弁も作動にバネの力を使用するので採用可能である。さらに、信頼性を向上させるため、たとえば、１０個の冠水弁の内５個を爆破弁として残りの５個をバネ式弁にすることがある。また、５個を溶融弁として残りの５個を爆破弁とすることがある。あるいは、溶融弁、爆破弁、バネ式弁の少なくとも２種類以上を混在して使用することがある。
【００９１】
［第２の実施形態］
図４は、本発明の第２の実施形態に係わる静的格納容器冷却フィルタベントシステムの原子炉格納容器まわりの構成を示す立断面図である。
【００９２】
本実施形態においては、凝縮水戻り配管２１はＵ字型に曲がった部分（「Ｕ字水封シール」と呼ぶ）３５を有しドライウェル共通部壁４ｂを貫通してドライウェル４の内部に導かれる。Ｕ字水封シール３５には内部に水を蓄えておく。また、凝縮水戻り配管２１のドライウェル４内の先端にはスプレイ・スパージャ３６が設置されている。スプレイ・スパ

ージャ３６は図４ではドライウェル４の側壁に接するように描かれているが、この位置に限定されない。たとえば、ドライウェル４の天井に取り付けることでも良い。ドライウェル４内であって熱交換器１６の出口プレナム１８よりも低い位置であれば、重力で流れが生じるので、ドライウェル４のトップスラブ４ａに取り付けることでも良い。また、凝縮水戻り配管２１の熱交換器１６とＵ字に曲がった部分（Ｕ字水封シール）３５の間の部分に逆止弁（凝縮水逆止弁）３７を設ける。逆止弁３７はＵ字に曲がった部分（Ｕ字水封シール）３５から熱交換器１６に逆流する流れを防止する方向に設置される。その他の構成は、第１実施形態と同様である。

【００９３】

このように構成される本実施形態にあっては、凝縮水をドライウェル４の内部に散布することができるためドライウェル４の温度を低く維持することが可能になる。ＬＯＣＡを起因事象として炉心溶融事故に至った場合には、炉心燃料から放出されるＣｓＩ等の放射性物質が配管の破断部分からドライウェル４内に放出されドライウェル４内に沈着する。これらの沈着した放射性物質が発生する崩壊熱によりドライウェル４内の温度が上昇する。これを放置すると原子炉格納容器３が過温破損するおそれがある。

【００９４】

しかし、本実施形態では、ドライウェル４内に散布される凝縮水によりドライウェル４内の温度を低く制限して静的に原子炉格納容器の過温破損を防止することができる。スプレイ・スパージャ３６を設けると注水を液滴化して除熱効果をさらに高めることができる。Ｕ字水封シール３５があるので、ドライウェル４内のガスが凝縮水戻り配管２１を逆流して伝熱管１９をバイパスしてガスベント配管２２によりスクラビングプール３３にベントされることを防止できる。逆止弁３７によりさらに確実に逆流を防止することができる。

【００９５】

［第３の実施形態］

図５は、本発明の第３の実施形態に係わる静的格納容器冷却フィルタベントシステムの原子炉格納容器まわりの構成を示す立断面図である。

【００９６】

本実施形態においては、外部ウェル３２の内部にＰＣＣＳドレンタンク３８を設ける。ＰＣＣＳドレンタンク３８は内部に水封用の水を貯え上部に気相部を有している。この気相部からドライウェル４の内部までオーバフロー配管３９を設け、その先端にスプレイ・スパージャ３６を設ける。凝縮水戻り配管２１の一端はＰＣＣＳドレンタンク３８の水の中に浸漬している。凝縮水戻り配管２１には逆止弁（凝縮水逆止弁）３７を設け、ＰＣＣＳドレンタンク３８から熱交換器１６への水の逆流を防止する構造となっている。また、ＰＣＣＳドレンタンク３８内水位計（図示せず）を設ける。その他の構成は、第２実施形態と同様である。

【００９７】

このように構成された本実施形態では、Ｕ字水封シール３５（図４）に比べて水封用の水をより多く確保できるようになる。水封用の水が多いと、逆流が発生した際の凝縮水戻り配管２１内の逆圧防止に効く水頭圧を大きくすることが可能となる。また、ＰＣＣＳドレンタンク３８は外部ウェル３２の内部に格納されているので、凝縮水に含まれるＣｓＩなどの放射性物質を環境に直接漏洩する恐れがない。

【００９８】

これにより、全交流電源喪失時に万一炉心燃料が損傷し放射性物質と水素が発生しても環境への放出と水素の爆轟を防止することが可能になる。また、過酷事故時の状態が長期化しても原子炉格納容器が過温破損することがなくなる。

【００９９】

［第４の実施形態］

図６は、本発明の第４の実施形態に係わる静的格納容器冷却フィルタベントシステムの原子炉格納容器まわりの構成を示す立断面図である。

【０１００】
本実施形態においては、ＰＣＣＳドレンタンク３８の下部から注水配管４０をペデスタルキャビティ６１ａの内部まで接続する。注水配管４０のペデスタルキャビティ６１ａ内の部分には注入弁４１を設ける。また、注水配管４０の外部ウェル３２内の部分には元弁４２を設ける。元弁４２は通常時は開にしておく。ＰＣＣＳドレンタンク３８の内部に水を蓄えたドレン・ピット４３を設け凝縮水戻り配管２１の一端はこのドレン・ピット４３内の水に浸漬している。注入弁４１は溶融弁、爆破弁、バネ式弁のいずれも使用可能である。また、これらを複数並列に組み合わせて使用することも可能である。その他の構成は、第３の実施形態と同様である。
【０１０１】
本実施形態によれば注入弁４１を開にすることによりＰＣＣＳドレンタンク３８の内部に蓄えた水を重力により下部ドライウェル６１ａの内部に注水することが可能である。冠水弁６７が多重故障により開失敗した場合のバックアップとして、ＰＣＣＳドレンタンク３８内の水を下部ドライウェル（ペデスタルキャビティ）６１ａ内に落下した炉心溶融の冷却に使用することが可能になる。
【０１０２】
ＰＣＣＳドレンタンク３８内の水が注水に使用されて水位が低下しても、ドレン・ピット４３内には水が残留するので、凝縮水戻り配管２１を水封する機能は維持される。ドレン・ピット４３には凝縮水戻り配管２１から常に凝縮水が供給されＰＣＣＳドレンタンク３８内にオーバフローするため、ＰＣＣＳドレンタンク３８は注水配管４０により炉心溶融物の冷却を継続可能となる。
【０１０３】
ＰＣＣＳ１２の熱交換器１６に供給される蒸気はＰＣＣＳドレンタンク３８が注水した水が下部ドライウェル６１ａ内で炉心溶融物によって加熱されることにより発生する。つまり、本実施形態では、蒸気の発生と凝縮水の供給が継続して循環しつつ原子炉格納容器内の熱はＰＣＣＳ１２の熱交換器１６から冷却水１４に伝達されさらに排気口１５から大気中に放出される。
【０１０４】
［第５の実施形態］
図７は、本発明の第５の実施形態に係わる静的格納容器冷却フィルタベントシステムの原子炉格納容器まわりの構成を示す立断面図である。
【０１０５】
本実施形態においては、ガス供給配管２０は、一端が熱交換器１６の入口プレナム１７に接続され外部ウェル３２内を通り、もう一端がドライウェル共通部壁４ｂの部分でドライウェル４内に接続されてドライウェル４内のガスを熱交換器１６に導く構造とする。また、ガス供給配管２０のドライウェル４内の部分にスクリーン２０ａを設ける。その他の構成は、第１の実施形態ないし第４の実施形態と同様である。
【０１０６】
このように構成された本実施形態においては、ガス供給配管２０が外部ウェル３２内を通るので、ガス供給配管２０内の放射性ガスや水素が配管から漏洩しても、放射性ガスおよび水素は外部ウェル３２内に閉じ込められて環境に放出されることが抑制される。また、外部ウェル３２内の雰囲気は窒素により置換されているので、水素が漏洩して来ても爆轟することを防止可能となる。スクリーン２０ａにより、ＬＯＣＡ時の急激なブローダウン時等にドライウェル４内に飛散する断熱材の破片等のルースパーツが熱交換器１６の内部に吸引されることを防止できる。
【０１０７】
［第６の実施形態］
図８は、本発明の第６の実施形態に係わる静的格納容器冷却フィルタベントシステムの原子炉格納容器まわりの構成を示す立断面図である。
【０１０８】

本実施形態では、サイクロン・セパレータ４５を外部ウェル３２の内部に設けて、ガス供給配管２０の一端をサイクロン・セパレータ４５の出口に接続する。また、サイクロン・セパレータ４５の入口からドライウェル４の内部まで延びる入口配管４６を設ける。さらに、入口配管４６のドライウェル４内の一端にはスクリーン４７を設ける構造とする。その他の構成は、第４の実施形態と同様である。

【０１０９】

このように構成された本実施形態では、ＬＯＣＡ時の急激なブローダウン時等にドライウェル４内に飛散する断熱材の破片等のルースパーツが熱交換器１６の内部に吸引されることを防止できる。破片等のルースパーツはスクリーン４７でほとんど除去される。一部の微細な固体についてはスクリーン４７では除去されないが、微細な固体は入口配管４６によりサイクロン・セパレータ４５内に導かれて除去される。除去された微細な固体はサイクロン・セパレータ４５の下部に設置されている回収容器に回収される。過酷事故時の入口配管４６内のガス流量は蒸気だけでも約２５０００m^3／ｈと非常に大きいため、サイクロン・セパレータ４５は高効率で微細固体を除去できる。その結果、伝熱管１９がドライウェル４内の破片等のルースパーツで目詰まりすることを防止できる。

【０１１０】

［第７の実施形態］

図９は、本発明の第７の実施形態に係わる静的格納容器冷却フィルタベントシステムの原子炉格納容器まわりの構成を示す立断面図である。

【０１１１】

本実施形態においては、ガス供給配管２０上に新たに通常時閉の隔離弁（ガス供給隔離弁）２０ｂを設ける。隔離弁２０ｂは電動弁、溶融弁、爆破弁、バネ式弁のいずれであっても良い。さらに新たにウェットウェル５内のガスを熱交換器１６に導くウェットウェル・ガス供給配管４８を設ける。ウェットウェル・ガス供給配管４８の一端は、ウェットウェル共通部壁５ａの部分を貫通してウェットウェル気相部７内に開口している。ウェットウェル・ガス供給配管４８の他端は、ガス供給配管２０の入口プレナム１７と隔離弁２０ｂとの間の部分に接続する。また、他の構成例として、当該ウェットウェル・ガス供給配管４８の他端を熱交換器１６の入口プレナム１７に接続してもよい。ウェットウェル・ガス供給配管４８は外部ウェル３２内を通る。

【０１１２】

さらに、ウェットウェル・ガス供給配管４８上には逆流防止装置４９が設けられ、入口プレナム１７内のガスが逆流してウェットウェル気相部７に流入することを防止する構造となっている。逆流防止装置４９は、逆止弁、真空破壊弁のいずれであっても良い。ガス供給配管２０上の隔離弁２０ｂの設置位置は、図９では外部ウェル３２の内部としているが、ドライウェル４内でも良いし外部ウェル３２のトップスラブ３２ａの上部であっても良い。このように隔離弁２０ｂの機能はガス供給配管２０を隔離することであるので、隔離弁２０ｂはガス供給配管２０上の任意の位置であって良い。

【０１１３】

このように構成された本実施形態にあっては、ＬＯＣＡ時のブローダウン時等のドライウェル４内の急激な圧力上昇が発生する場合であっても、ガス供給配管２０は隔離弁２０ｂにより閉鎖されているためドライウェル４内で発生する可能性のある断熱材の破片等のルースパーツが熱交換器１６に流入することが完全に防止される。ドライウェル４内のガスはＬＯＣＡベント管８を通り圧力抑制プール６を経てウェットウェル気相部７に達する。その際、プール水で蒸気が凝縮され、ＣｓＩ等の放射性物質が除去され、ルースパーツも除去される。

【０１１４】

その結果、主に非凝縮性ガスの窒素、水素、放射性希ガス、有機ヨウ素がウェットウェル気相部７に達する。これらのガスはさらに、ウェットウェル・ガス供給配管４８により熱交換器１６に導かれ、さらにガスベント配管２２によりスクラビングプール３３を経て外部ウェル３２内に放出される。この過程でウェットウェル気相部７のガスに大量の蒸気

は含まれていないため、スクラビングプール３３の水が蒸気の熱で高温化することが防止される。そのためスクラビングプール３３の保有水量を少なくすることが可能になる。たとえば、１００ｍ^{3}以下で十分となる。

【０１１５】

全交流電源喪失（ＳＢＯ）時に炉心溶融を防止できる場合には、原子炉圧力容器２内の蒸気は逃がし安全弁（ＳＲＶ）７２（図１１参照）により圧力抑制プール６に伝わり、プール水が高温化して飽和に達すると、ウェットウェル気相部７に蒸気が発生する。この場合は、ウェットウェル気相部７内の蒸気はウェットウェル・ガス供給配管４８により熱交換器１６に供給され凝縮される。この場合の蒸気流量は崩壊熱相当であり、熱交換器１６により全量凝縮される。したがって、ガスベント配管２２により蒸気がスクラビングプール３３に移行してプール水を高温化することがない。

【０１１６】

全交流電源喪失（ＳＢＯ）時に炉心溶融が発生し、炉心溶融物が原子炉圧力容器２の底部を溶融貫通して下部ドライウェル６１ａ内に落下した場合は、冠水弁６７が作動して炉心溶融物を冠水して冷却する。その際大量の蒸気が発生して開口部６６を通り上部ドライウェルに移行する。この場合も、蒸気はＬＯＣＡベント管８を通り圧力抑制プール６で凝縮される。その際発生した水素は、ウェットウェル気相部７に移行して、さらにウェットウェル・ガス供給配管４８により熱交換器１６に移行し、さらにガスベント配管２２によりスクラビングプール３３を経て外部ウェル３２の内部に放出される。その過程で、水素に随伴していた放射性物質は圧力抑制プール６とスクラビングプール３３とで２度にわたり除去される。圧力抑制プール６の水が飽和に達すると蒸気凝縮能力はなくなるが、その後はウェットウェル・ガス供給配管４８によりウェットウェル気相部７内の蒸気は静的格納容器冷却系１２の熱交換器１６によって凝縮される。

【０１１７】

ガスベント配管２２は外部ウェル３２の内部に導かれているので、熱交換器１６の内部に滞留する非凝縮性ガスは効率良く外部ウェル３２の内部に排出される。これはウェットウェル気相部７の圧力が外部ウェル３２内の圧力よりも高く維持されているからである。そのためウェットウェル・ガス供給配管４８をウェットウェル気相部７に接続していても特許文献２のように動的なファンを用いて熱交換器１６の内部に滞留する非凝縮性ガスをドライウェル４内に強制的にベントする必要がない。

【０１１８】

したがって、ガス供給配管２０上に設けられた隔離弁２０ｂを開にする必要性はないが、もし、隔離弁２０ｂを開にした場合には、炉心溶融物の冷却で発生するドライウェル４内の蒸気を直接ガス供給配管２０により熱交換器１６に導き凝縮できるので、ドライウェル４の圧力・温度をより低く維持する効果が得られる。隔離弁２０ｂを開にする場合には、冠水弁６７が開になりドライウェル４内の大量の蒸気の発生が収束してから実施する。隔離弁２０ｂを開にするとガス供給配管２０とウェットウェル・ガス供給配管４８とが連通してドライウェル４内のガスがウェットウェル気相部７に逆流するおそれがあるが、ウェットウェル・ガス供給配管４８上に逆流防止装置４９が設けられているためガスの逆流が発生することは防止される。

【０１１９】

［第８の実施形態］

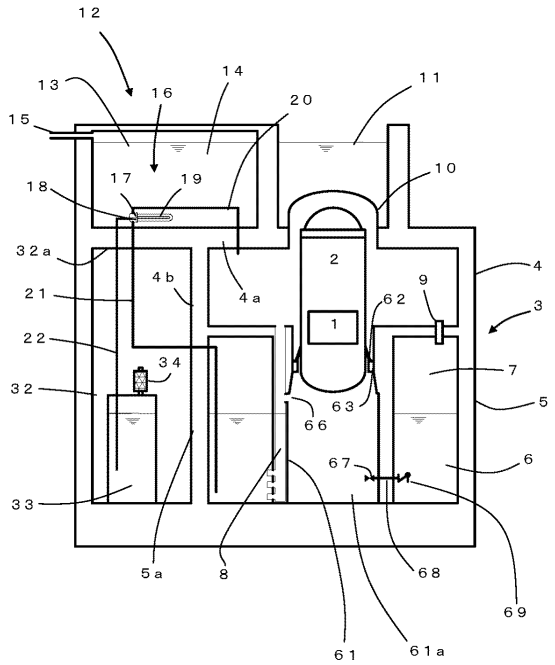
図１０は、本発明の第８の実施形態に係わる静的格納容器冷却フィルタベントシステムの原子炉格納容器まわりの構成を示す立断面図である。

【０１２０】

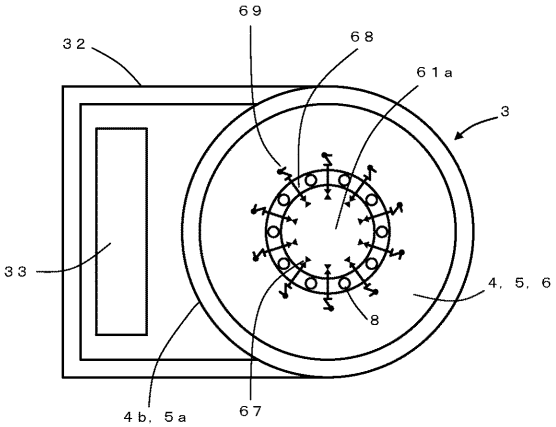
本実施形態においては、スクラビングプール３３（図１～図９）として除染水５２を内部に蓄えたフィルタベント容器５１を設け、ガスベント配管２２の先端をフィルタベント容器５１の入口配管５３に接続し、フィルタベント容器５１は出口配管５４により外部ウェル３２内に開口する構造とする。また、フィルタベント容器５１の内部に金属ファイバフィルタ５６やベンチュリスクラッバ５５を設けた構造とする。

【０１２１】
このように構成された本実施形態にあっては、既に開発されている高性能なフィルタベントシステムのフィルタベント容器を使用することができるのでさらに高効率で放射性物質の除去が行える効果がある。
【０１２２】
［その他の実施形態］
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。これら実施形態は、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。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。
【符号の説明】
【０１２３】
１…炉心、２…原子炉圧力容器、３…原子炉格納容器、４…ドライウェル、４ａ…トップスラブ、４ｂ…ドライウェル共通部壁、５…ウェットウェル、５ａ…ウェットウェル共通部壁、６…圧力抑制プール、７…ウェットウェル気相部、８…ＬＯＣＡベント管、８ａ…水平ベント管、９…真空破壊弁、１０…原子炉格納容器上蓋、１１…水遮蔽、１２…静的格納容器冷却系（ＰＣＣＳ）、１３…冷却水プール、１４…冷却水、１５…排気口、１６…熱交換器、１７…入口プレナム、１８…出口プレナム、１９…伝熱管、２０…ガス供給配管、２０ａ…スクリーン、２０ｂ…隔離弁（ガス供給隔離弁）、２１…凝縮水戻り配管、２２…ガスベント配管、２３…管板、３２…外部ウェル、３２ａ…トップスラブ、３３…スクラビングプール、３３ａ…上蓋、３３ｂ…空間、３３ｃ…第１の出口配管、３４…金属ファイバフィルタ（フィルタ）、３４ａ…第２の出口配管、３５…Ｕ字水封シール、３６…スプレイ・スパージャ、３７…逆止弁（凝縮水逆止弁）、３８…ＰＣＣＳドレンタンク、３９…オーバフロー配管、４０…注水配管、４１…注入弁、４２…元弁、４３…ドレン・ピット、４５…サイクロン・セパレータ、４６…入口配管、４７…スクリーン、４８…ウェットウェル・ガス供給配管、４９…逆流防止装置、５０…フィルタベントシステム、５１…フィルタベント容器、５２…除染水、５３…入口配管、５４…出口配管、５５…ベンチュリスクラッバ、５６…金属ファイバフィルタ（フィルタ）、５７…隔離弁、５８…ラプチャディスク、５９ａ、５９ｂ…隔離弁、６０…出口弁、６１…ペデスタル、６１ａ…ペデスタルキャビティ（下部ドライウェル）、６２…ＲＰＶスカート（ベッセル・スカート）、６３…ＲＰＶサポート（ベッセル・サポート）、６４…溶融弁、６５…下部ドライウェル冠水配管、６６…開口部、６７…冠水弁、６８…冠水配管、６９…逆止弁（冠水逆止弁）、７１…主蒸気配管、７２…逃がし安全弁、７３…逃がし配管、７５…排気筒、１００…原子炉建屋

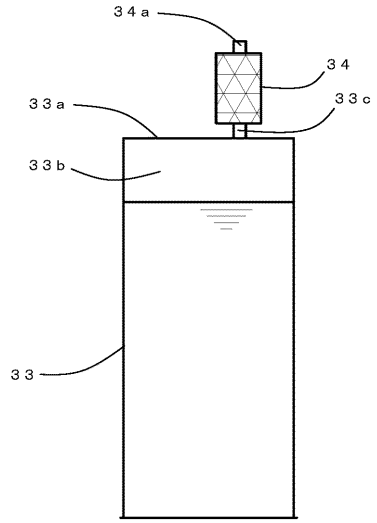
【図１】


12
13
16
14
11
15
20
18
17
19
10
32a
2
4
4b
4a
21
9
3
62
22
1
7
34
32
63
5
66
67
6
33
5a
8
68
69
61
61a

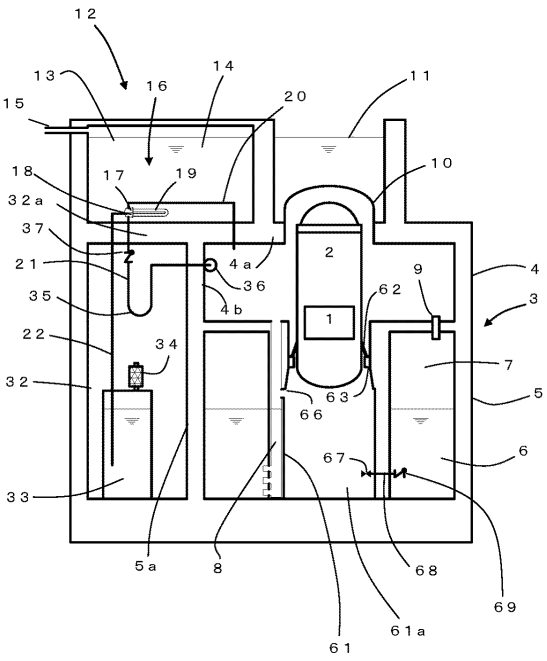
【図２】


69
68
32
61a
3
33
4, 5, 6
8
4b, 5a
67

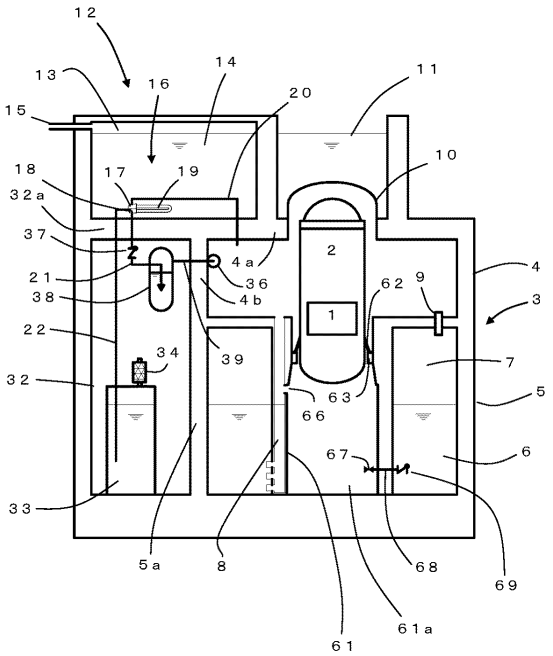
【図３】


34a
34
33a
33c
33b
33

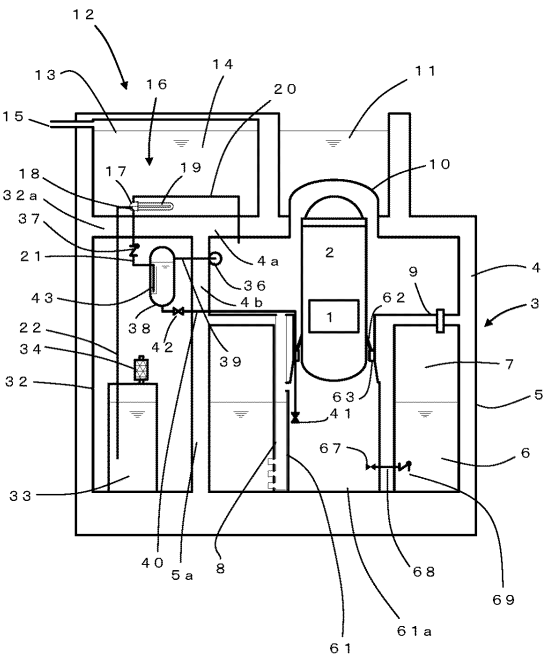
【図４】


12
13
16
14
11
15
20
18
17
19
10
32a
37
2
4a
4
21
36
9
62
3
35
4b
1
22
34
7
32
63
5
66
67
6
33
5a
8
68
69
61
61a

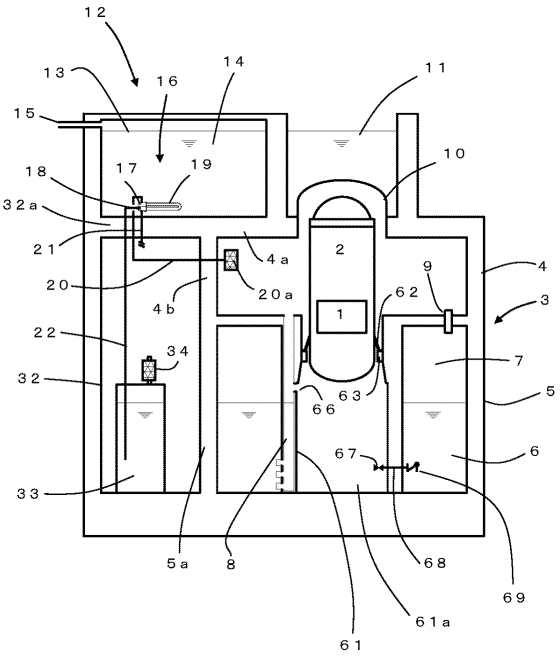
【図５】


12
13
16
14
20
11
15
10
18
17
19
32a
37
4a
2
4
21
36
62
9
3
38
4b
1
22
39
7
34
32
63
5
66
67
6
33
5a
8
68
69
61
61a

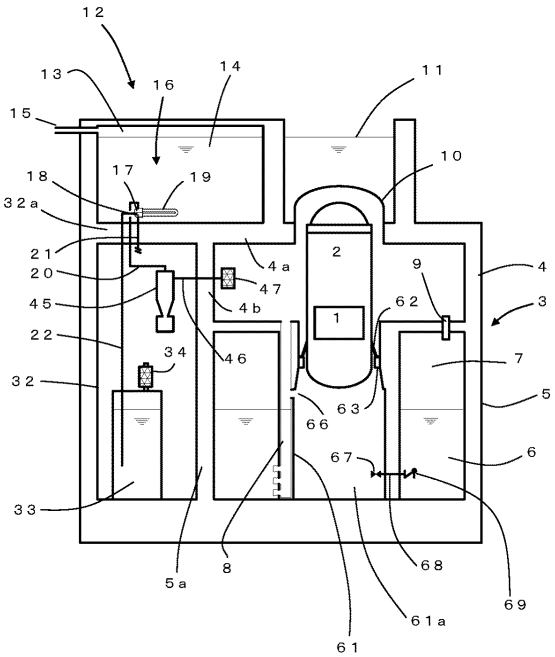
【図６】


12
13
16
14
20
11
15
10
18
17
19
32a
37
4a
2
4
21
36
9
3
43
4b
62
1
38
42
22
39
7
34
32
63
5
41
67
6
33
40
5a
8
68
69
61
61a

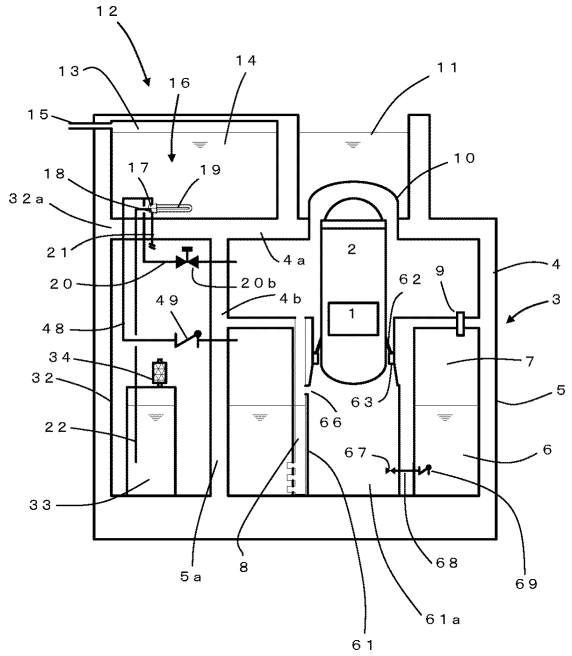
【図７】


12
13
16
14
11
15
10
18
17
19
32a
4a
2
4
21
9
20
20a
3
4b
62
1
22
34
7
32
63
5
66
67
6
33
5a
8
68
69
61
61a

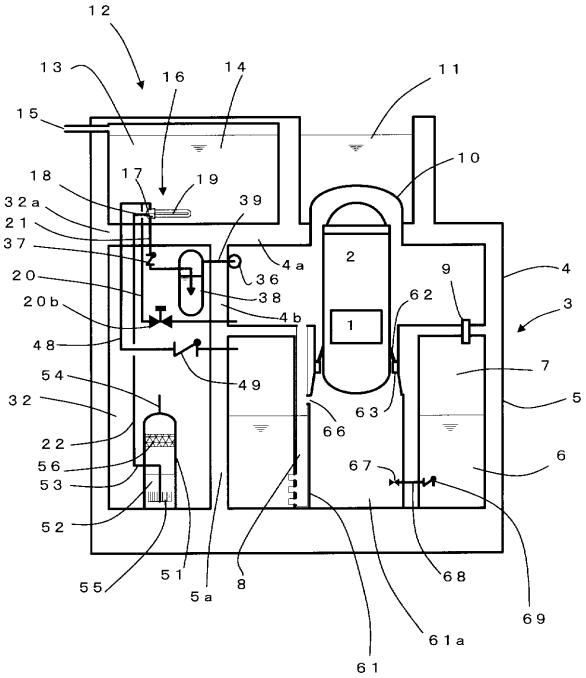
【図８】


12
13
16
14
11
15
10
18
17
19
32a
4a
2
4
21
9
20
47
3
45
4b
62
1
22
46
34
7
32
63
5
66
67
6
33
5a
8
68
69
61
61a

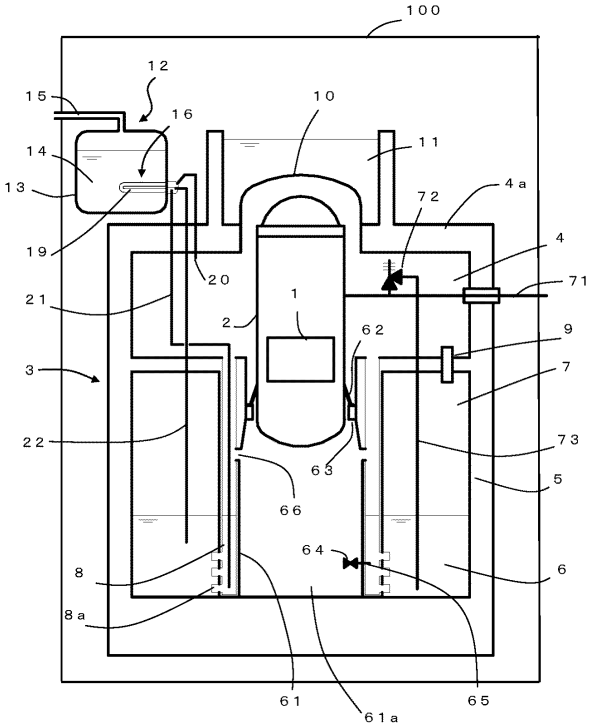
【図９】



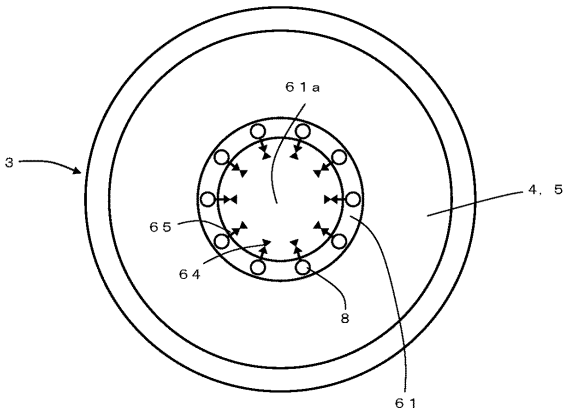
【図１０】



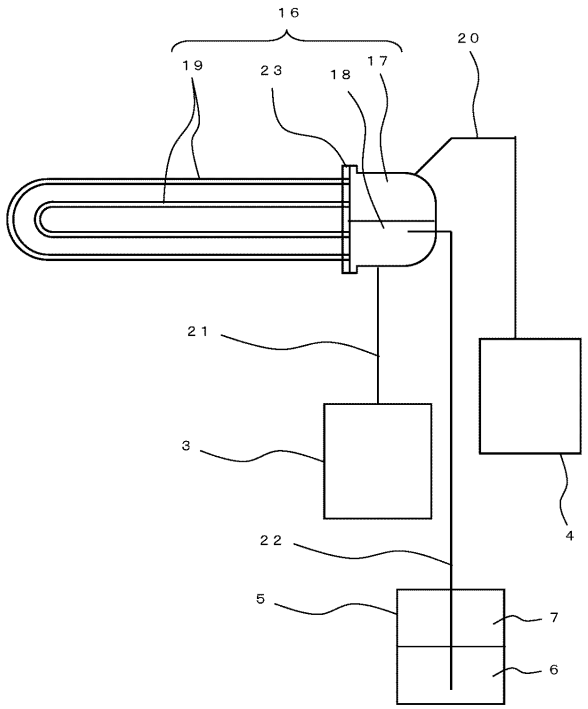
【図１１】



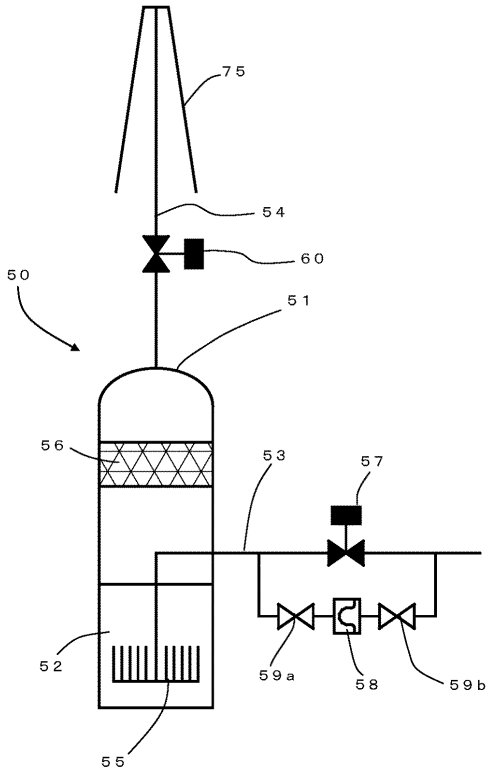
【図１２】



【図１３】



【図１４】



フロントページの続き

審査官　山口　敦司

(56)参考文献　特開２０１３－１７０８８３（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１２／０７３４１１（WO，Ａ1）
特開平０７－０７２２８０（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ２１Ｃ　　９／００
Ｇ２１Ｃ　　９／００４
Ｇ２１Ｃ　１５／１８