

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2015-519584  
(P2015-519584A)

(43) 公表日 平成27年7月9日(2015.7.9)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)  
G 2 1 D 1/00 (2006.01) G 2 1 D 1/00 S

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2015-517287 (P2015-517287)  
(86) (22) 出願日 平成25年5月31日 (2013.5.31)  
(85) 翻訳文提出日 平成27年1月7日 (2015.1.7)  
(86) 国際出願番号 PCT/US2013/043555  
(87) 国際公開番号 W02013/188129  
(87) 国際公開日 平成25年12月19日 (2013.12.19)  
(31) 優先権主張番号 13/495,050  
(32) 優先日 平成24年6月13日 (2012.6.13)  
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 501010395  
ウエスチングハウス・エレクトリック・カンパニー・エルエルシー  
アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 16066 クランベリー・タウンシップ ウエスチングハウス・ドライブ 1000  
(74) 代理人 100091568  
弁理士 市位 嘉宏  
(72) 発明者 エヴァンス、マシュー、シー  
アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 15219 ピッツバーグ コリンウッド・ドライブ 44

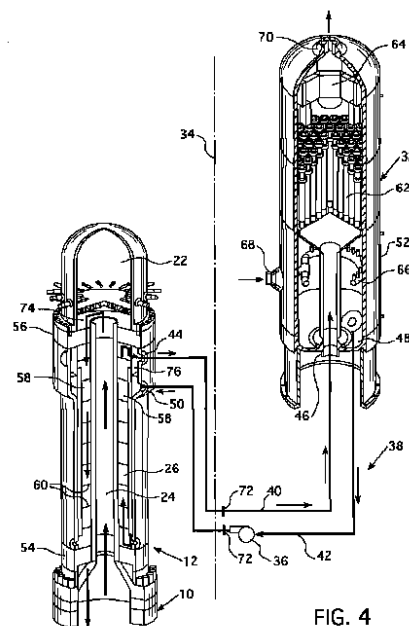
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 加圧水型原子炉用のコンパクトな蒸気発生器

(57) 【要約】

格納容器の外側の蒸気ドラムおよび再循環ループ配管を使用する加圧水型原子炉用蒸気発生器システム。当該蒸気発生器システムは、典型的な加圧水型原子炉用の再循環蒸気発生器の構成を、気水分離および給水予熱の機能を原子炉冷却系の外側へ移すことにより、変更したものである。格納容器内の蒸気発生器熱交換器部分の体積が最小になるように、蒸気発生器システムと熱水力条件を選択する。外側にある蒸気ドラムは、事故条件下において所望される場合は隔離可能であり、崩壊熱除去能力と給水喪失事象が起きた際の耐久力を高めるための二次流体インベントリ供給源として使用される。したがって、格納容器内の蒸気発生器部分の体積が小さくなり、原子炉冷却系構成機器に必要とされる保守作業量が同様に減少する。

【選択図】 図 4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

原子炉圧力容器（10）が炉心（14）を収容する加圧水型原子炉システムの蒸気発生器（18）であって、

第1の圧力容器（10）内に収容され、一次側および二次側を備えて、熱媒体としての、一次流体を二次流体から隔離するための熱交換器（26）であって、一次流体と二次流体は少なくとも部分的に熱交換関係に保たれ、一次側は炉心と流体連通関係にあるように構成された熱交換器（26）と、

熱交換器（26）の二次側と流体連通関係にあるように構成された第2の圧力容器（52）を含む蒸気ドラム（32）であって、運転時には第1の圧力容器（10）の一次圧力が第2の圧力容器の二次圧力より高く保たれる蒸気ドラム（32）とから成る蒸気発生器（18）。 10

## 【請求項 2】

第1の圧力容器（10）が、加圧水型原子炉システムの一次冷却材ループを収容する原子炉格納容器（34）内に収容されており、第2の圧力容器（52）が、原子炉格納容器の外側に収容されている請求項1の蒸気発生器（18）。 20

## 【請求項 3】

第1の圧力容器（10）が炉心（14）、熱交換器（26）、および一次冷却材ループを収容する原子炉圧力容器であり、一次流体が原子炉冷却材である請求項2の蒸気発生器（18）。 20

## 【請求項 4】

蒸気ドラム（32）が二次設計圧力を定格とする第2の圧力容器（52）、第2の圧力容器に収容された湿分分離器（62、64）、給水配分装置（66）、湿り蒸気フローノズル（46）、給水フローノズル（68）、再循環液フローノズル（48）、および乾き蒸気フローノズル（70）を具備する請求項1の蒸気発生器（18）。 30

## 【請求項 5】

蒸気ドラム（32）が二次ブローダウン装置、スラッジコレクタ、およびルースパーティクルトラップのうちの1つまたはそれ以上を具備する請求項4の蒸気発生器（18）。 30

## 【請求項 6】

蒸気ドラム（32）が熱交換器（26）に接続されており、再循環ループが熱交換器の湿り蒸気出口（44）と第2の圧力容器（52）の湿り蒸気ノズル入口（46）とを接続する湿り蒸気配管区間（40）と、第2の圧力容器（52）の再循環液出口ノズル（46）と熱交換器のサブクール再循環入口（50）とを接続する再循環液配管区間（42）とから成る請求項1の蒸気発生器（18）。 30

## 【請求項 7】

再循環液配管（40、42）が再循環ポンプ（36）を具備する請求項6の蒸気発生器（18）。 40

## 【請求項 8】

湿り蒸気配管区間（40）および再循環液配管区間（42）がそれぞれ熱交換器（26）を蒸気ドラム（32）から隔離するための隔離弁（72）を具備し、再循環ループのうち熱交換器と隔離弁の間は一次圧力を定格とし、隔離弁と蒸気ドラムの間は二次圧力を定格とすることを特徴とする請求項6の蒸気発生器（18）。 40

## 【請求項 9】

蒸気ドラム（32）が熱交換器（26）よりも高い位置で支持される請求項1の蒸気発生器（18）。 40

## 【請求項 10】

熱交換器（26）が1つ以上の管板（54、56）の間を延びる複数の伝熱管（58）およびホットレグを具備し、当該伝熱管の中を一次流体および二次流体のうちの1種以上が流れることを特徴とする請求項1の蒸気発生器（18）。 40

## 【請求項 11】

10

20

30

40

50

一次流体と二次流体が向流関係にある請求項10の蒸気発生器(18)。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は概して加圧水型原子炉に関し、具体的には、加圧水型原子炉用の蒸気発生器に関する。

【背景技術】

【0002】

加圧水型原子炉等の発電用原子炉においては、濃縮ウランなどの原子燃料の核分裂により熱が発生し、その熱が炉心を通る冷却材へ伝達される。炉心は、細長の原子燃料棒が互いに近接して取り付けられた構造の燃料集合体を含み、冷却材は、この燃料集合体の中を流れる。燃料棒は同一の拡がりをもつ平行なアレイを形成するように互いに離隔している。所与の燃料棒の燃料原子が原子核崩壊する時に放出される中性子および他の原子粒子の一部は、燃料棒の間の空間を通過し、隣接する燃料棒の核分裂性物質に衝突して、原子核反応および炉心による熱の発生に寄与する。

10

【0003】

移動可能な制御棒は、燃料棒の間を通過する中性子の一部を吸収することによって核分裂反応の全体的な速度の制御を可能にするように、炉心全体にわたって分散配置されている。これらの中性子は、吸収されなければ核分裂反応に寄与するものである。制御棒は概して、中性子吸収物質の細長の棒から成り、燃料集合体中において燃料棒の間をそれらに平行に延びる長手方向の孔または案内シムルに収まる。制御棒をさらに炉心に挿入すると、より多くの中性子が、隣接する燃料棒の核分裂に寄与することなく吸収される。また、制御棒を引き抜くと、中性子吸収の程度が減少して、原子核反応の速度および炉心の出力が増大する。

20

【0004】

図1に示すのは従来の原子炉一次系を単純化したものであり、概して円筒形の圧力容器10と蓋体12とが、核分裂性物質を含む燃料棒を支持する炉心14を密封している。水などの冷却材は、ポンプ16により容器10に圧入され、炉心14を通過する際に熱エネルギーを吸収して、一般的に蒸気発生器と呼ばれる熱交換器18へ送られ、伝達された熱が蒸気駆動タービン発電機または産業用プロセス蒸気利用機器などの利用回路(図示せず)へ送られる。冷却材がバルク沸騰を起こさないよう一次系の圧力を保つために、加圧器22が組み込まれている。原子炉冷却材はその後、ポンプ16へ戻り、一次側ループが完成する。一般的に、上述したような複数のループが、原子炉冷却材配管20により単一の原子炉容器10に接続されている。

30

【0005】

この設計を採用する商業発電所は、典型的には電気出力が約1,100メガワット以上である。最近では、ウェスチングハウス・エレクトリック・カンパニー・エルエルシーが、電気出力200~300メガワット級のモジュール式小型炉を提案している。モジュール式小型炉は一体型加圧水型原子炉であり、一次系構成機器のすべてが原子炉容器の内部に配置されている。要求される構成機器の大きさおよび製作方法の観点からは、一般的に蒸気発生器は大形の一次系構成機器の1つである。したがって、原子炉容器内に蒸気発生器を組み込むと、製造の観点からも保守の観点からも原子炉容器の取り扱いが難しくなる。そのため、原子炉容器内に格納すると利点が生じる、蒸気発生器構成機器の小型化を実現する新設計の蒸気発生器に需要がある。

40

【0006】

したがって、安全性を損なわずに従来の加圧水型原子炉蒸気発生器の効率性を保つ新設計のコンパクトな蒸気発生器が望まれる。

【0007】

さらに、原子炉格納容器内に保持する必要がある構成機器を全体的に小型化する新設計

50

のコンパクトな蒸気発生器が望まれる。

【発明の概要】

【0008】

上記およびその他の目的は、原子炉圧力容器が炉心を収容する加圧水型原子炉システムのコンパクトな設計の蒸気発生器によって達成される。コンパクトな蒸気発生器は、第1の圧力容器内に収容され、一次側および二次側を備え、熱媒体としての、一次流体を二次流体から隔離する熱交換器から成り、一次流体と二次流体は少なくとも部分的に熱交換関係に保たれる。熱交換器の一次側は、炉心と流体連通関係にあるように構成されている。蒸気発生器は、熱交換器の二次側と流体連通関係にあるように構成された第2の圧力容器から成る蒸気ドラムをも具備し、運転時には第1の圧力容器の一次圧力が第2の圧力容器の二次圧力より高く保たれる。

10

【0009】

第1の圧力容器は、加圧水型原子炉システムの一次ループを収容する原子炉格納容器建屋内に収容され、第2の圧力容器は、原子炉格納容器の外側に収容されるのが好ましい。より好ましくは、第1の圧力容器は炉心、熱交換器、および一次冷却材ループを収容する原子炉圧力容器であり、一次流体は原子炉冷却材である。一実施態様において、蒸気ドラムは二次設計圧力を定格とする第2の圧力容器、第2の圧力容器に収容された湿分分離器、給水配分装置、湿り蒸気フローノズル、給水フローノズル、再循環液フローノズル、および乾き蒸気フローノズルを具備する。蒸気ドラムはまた、1つ以上の二次ブローダウン装置、スラッジコレクタ、および/またはルースパーツトラップを具備してもよい。

20

【0010】

蒸気ドラムは熱交換器に接続され、再循環ループは熱交換器の湿り蒸気出口と第2の圧力容器の湿り蒸気ノズル入口とを接続する湿り蒸気配管区間、および第2の圧力容器の再循環液出口ノズルと熱交換器のサブクール再循環入口とを接続する再循環液配管区間を具備するのが好ましい。再循環液配管区間が再循環ポンプを含むのが好ましい。また、湿り蒸気配管区間および再循環液配管区間はそれぞれ熱交換器を蒸気ドラムから隔離する隔離弁を具備し、再循環ループのうち熱交換器と隔離弁の間は一次圧力を定格とし、隔離弁と蒸気ドラムの間は二次圧力を定格とする。

【0011】

別の実施態様では、再循環液の自然再循環を促進するために、蒸気ドラムが熱交換器より高い位置に支持される。さらに別の実施態様では、熱交換器が1つ以上の管板の間を延びる複数の伝熱管を具備し、当該伝熱管内を一次流体および二次流体のうちの1種以上が流れる。一次流体と二次流体は、伝熱管内またはその周囲を向流関係で流れることが望ましい。

30

【図面の簡単な説明】

【0012】

本発明の詳細を、好ましい実施態様を例にとり、添付の図面を参照して以下に説明する。

【0013】

【図1】本発明を適用できる原子炉システムの単純化した概略図である。

40

【0014】

【図2】本発明の利点を組み込むことができる一体型モジュール式小型炉システムを示す一部破断斜視図である。

【0015】

【図3】図2に示す原子炉の拡大図である。

【0016】

【図4】モジュール式加圧水型原子炉に適用しうる、本発明の蒸気発生器の一実施態様のより詳細な斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

50

図 2 ~ 4 に示す本発明の実施態様は、蒸気ドラムと再循環ループ配管とを原子炉格納容器の外側に配置する加圧水型原子炉用蒸気発生器システムを説明するものである。本発明は、気水分離および給水予熱の機能を格納容器の外側へ移すことにより、典型的な加圧水型原子炉用の再循環蒸気発生器の構成を変更するものである。いくつかの図面の中で使用している同じ参照符号は、対応する構成要素を指している。格納容器内の蒸気発生器部分の体積が最小になるように、蒸気発生器のシステム設計と熱水力条件を選択する。外部機器である蒸気ドラムは、事故条件下において所望される場合に隔離可能であり、崩壊熱除去能力と給水喪失事象が起きた際の耐久力を高めるための二次流体インベントリ供給源として使用される。本発明は、格納容器内の蒸気発生器部分の体積を有意に小さくし、原子炉冷却系構成機器に必要とされる保守作業量を減らす。

10

**【 0 0 1 8 】**

一般的には、加圧水型原子炉システムでは、2種類の蒸気発生器、すなわち貫流蒸気発生器と再循環蒸気発生器のうちのいずれかが使用される。一般に、貫流蒸気発生器は過熱蒸気を生成するが、そのために膜沸騰および単相蒸気過熱という伝熱形態を経る必要がある。このような伝熱形態では、格納容器内の表面積や蒸気発生器体積を増やすことが要求される。また、二次インベントリは崩壊熱除去の仕組みを提供するので、貫流設計には、給水喪失過渡事象を考慮した場合に二次インベントリの不足という問題がある。しかし、二次インベントリが小さいことは、蒸気管破断および給水管破断による格納容器への質量およびエネルギー放出の事故解析を考慮すると利点である。

20

**【 0 0 1 9 】**

一般的には、再循環蒸気発生器は飽和した乾き蒸気を生成し、サブクール核沸騰の効率的な伝熱形態の範囲内でおおむね運転されるように設計されている。しかし、そのような設計は、格納容器内に湿分分離器のための有意な空間を必要とする。二次インベントリが大きいことは、給水喪失過渡事象を考慮すると有利な点であるが、蒸気管破断および給水管破断による格納容器への質量およびエネルギー放出の事故解析を考慮すると不利である。

30

**【 0 0 2 0 】**

本発明は、格納容器内のコンパクトな蒸気発生器向けの設計を提供するとともに、給水喪失過渡事象ならびに給水管破断および蒸気管破断による格納容器への質量およびエネルギー放出の事故解析に改善をもたらす。ある特定の設計の原子炉では、例えばモジュール式小型炉における構成、空間、およびアクセスの要件などから、貫流蒸気発生器や再循環蒸気発生器を使用するのは実際的ではないかもしれない。

40

**【 0 0 2 1 】**

図 2、3 は、本明細書に記載するコンパクトな設計の蒸気発生器により利益が得られるようなモジュール式小型炉を示す。図 2 は、格納容器、原子炉容器、およびそれらの内部構造物を示す一部破断斜視図である。図 3 は、図 2 に示した原子炉容器の拡大図である。加圧器 22 は原子炉容器蓋体 12 の上部に一体化されているため、別個に設ける必要がない。原子炉冷却材一次ループのホットレグの一部を構成する高温側ライザー 24 は、一次冷却材を炉心 14 から高温側ライザー 24 を取り囲む熱交換器 26 に導く。複数の原子炉冷却材ポンプ 28 (本明細書に示す例示的な実施態様では 6 ~ 8 台) が、上部炉内構造物 30 の上端に近い高さで、原子炉容器のまわりに周方向に離隔して配置されている。原子炉冷却材ポンプは、水平に設置された軸流キャンドモータポンプである。炉心 14 および上部炉内構造物 30 は、サイズは別にして、ウェスティングハウス・エレクトリック・カンパニー・エルエルシー (ペンシルベニア州ピッツバーグ) が提供する通常の AP1000 (登録商標) 原子炉の対応する構成機器と実質的に同一である。

50

**【 0 0 2 2 】**

図 4 は、モジュール式小型炉に適用された本発明の好ましい一実施態様における、熱交換器 26 および蒸気ドラム 32 を組み込んだ原子炉容器 10 の上蓋 12 をさらに詳細に示している。図 2 ~ 4 に示すような一体型加圧水型原子炉において、原子力蒸気供給系の一次側に一般的に関連するすべての構成機器は単一の圧力容器 10 に収容されており、当該

60

容器は典型的には格納容器 3 4 に格納されている。圧力容器 1 0 に収容される主要構成機器として、蒸気発生器の一次側、原子炉冷却材ポンプ、加圧器、および原子炉本体が挙げられる。本明細書に記載する実施態様に基づく蒸気発生器システムには、一体型蒸気発生器の熱交換器 2 6、格納容器外の蒸気ドラム 3 2、再循環ポンプ 3 6、および再循環配管 3 8 が含まれる。再循環配管 3 8 は、熱交換器 2 6 の湿り蒸気出口ノズル 4 4 と蒸気ドラム圧力容器 5 2 の湿り蒸気ノズル入口 4 6 とを接続する湿り蒸気配管区間 4 0 を有する。再循環配管 3 8 はまた、蒸気ドラム圧力容器 5 2 の再循環液出口ノズル 4 8 と熱交換器 2 6 のサブクール再循環入口ノズル 5 0 とを接続する再循環液配管区間 4 2 を有する。蒸気発生器の熱交換器 2 6 は、一次設計圧力を定格とし、原子炉 1 0 および他の一体型構成機器によって共有される圧力容器 1 2、2 つの管板 5 4、5 6、ホットレグ配管 2 4 (高温側ライザーとも呼ばれる)、下部管板 5 4 と上部管板 5 6 の間を延びる伝熱管 5 8、管支持板 6 0、および熱媒体としての二次流体の流れを伝熱管 5 8 の間に差し向けるための二次フローパッフル 7 6 を含む。

10

20

30

40

50

#### 【 0 0 2 3 】

熱交換器の圧力容器蓋体 1 2 は格納容器内に保たれ、原子炉格納容器壁 3 4 によって蒸気ドラム圧力容器 5 2 から分離される。格納容器外の蒸気ドラム 3 2 は、二次設計圧力を定格とする圧力容器 5 2、遠心式湿分分離器 6 2、シェブロン式湿分分離器 6 4、給水配分装置 6 6、湿り蒸気フローノズル 4 6、給水フローノズル 6 8、再循環液フローノズル 4 8、および乾き蒸気フローノズル 7 0 から成る。再循環ポンプ 3 6 は、再循環液配管区間 4 2 内に配置されている。また、熱交換器湿り蒸気出口 4 4 およびサブクール再循環入口 5 0 に近接して、湿り蒸気配管区間 4 0 内と再循環液配管区間 4 2 内に隔離弁が配置されている。再循環ループ配管 3 8 のうち、熱交換器 2 6 と隔離弁 7 2 の間は一次圧力、すなわち原子炉圧力を定格とし、隔離弁 7 2 と蒸気ドラム 3 2 の間は二次圧力を定格とする。

#### 【 0 0 2 4 】

原子炉容器 1 0 の蓋体 1 2 内の熱交換器 2 6 を流れる原子炉一次冷却材の流れは、図 4 の左側に矢印で示してある。再循環液の流れは、図 4 の熱交換器 2 6 の右側に矢印で示すように、熱交換器 2 6 と蒸気ドラム 3 2 をつないでいる。したがって、図 4 に示すように、炉心 1 4 から出た加熱された原子炉冷却材は、高温側ライザー 2 4 内を上昇し、上部管板 5 6 の中心を通過して高温側プレナム 7 4 内に入る。加熱された冷却材はそこで流れの向きを 1 8 0 度変え、上部管板 5 6 を貫通する伝熱管 5 8 に入る。原子炉冷却材はその後、管板 5 6 を貫通する伝熱管 5 8 内を流下し、サブクール再循環入口ノズル 5 0 を通過して熱交換器に入る再循環液および給水の混合物へ、向流関係で、熱を伝える。サブクール再循環入口ノズル 5 0 から熱交換器 2 6 に入るサブクール再循環液および給水は、二次フローパッフルによって熱交換器の底部へ差し向けられた後、伝熱管 5 8 の周りをそれに沿って上昇し、上部管板 5 6 の直下で向きを変え、二次フローパッフルにより排出路 7 6 に差し向けられ、湿り蒸気出口ノズル 4 4 に流入する。飽和した湿り蒸気はその後、湿り蒸気配管区間 4 0 を通過して蒸気ドラム湿り蒸気ノズル入口 4 6 へ送られ、さらに遠心式湿分分離器 6 2 とシェブロン式分離器 6 4 とを次々に流過する。乾き蒸気はその後、蒸気ドラムの蒸気ノズル 7 0 から流出し、二次配管を経て蒸気タービン発電機へと送られ、そこで有用な仕事をする。遠心式分離器 6 2 およびシェブロン式分離器 6 4 によって蒸気から分離された湿分は、蒸気ドラムの底部から排出され、そこで給水入口ノズル 6 8 から流入し給水と混合される。この給水は、給水配分装置 6 6 の上の給水ノズルによって散布される。混合された再循環液と給水はその後、再循環液出口ノズルから出て、再循環液配管区間 4 2 を通り、サブクール再循環入口ノズル 5 0 へ到達し、このサイクルが繰り返される。

#### 【 0 0 2 5 】

したがって、この実施態様では、蒸気発生器の熱交換器 2 6 が原子炉の上方に配置される。この構成において、原子炉一次冷却材の流れはホットレグ配管 2 4 内を垂直に上昇した後、蒸気発生器管板 5 6 と加圧器 2 2 の間のプレナム 7 4 に流入し、その後、伝熱管 5 8 内を垂直に下降する間に、向流関係で、熱を二次流体に伝える。二次流体はサブクール

液として蒸気発生器の熱交換器シェル内に流入し、飽和蒸気混合物（乾き度30%～60%）として流出し、湿分を分離するために蒸気ドラム32へ送られる。ドラム内の湿分分離器は、発電用タービンに入る乾き度99.9%以上の飽和した乾き蒸気の条件を満足するタイプと大きさのものを選択するのが好ましい。この設計が、必ず効率的な核沸騰伝熱形態でおおむね運転されるように、二次側の運転条件（圧力と乾き度）を選択する。例えば、蒸気ドラムは、再循環液が給水を予熱するための混合空間を提供するが、それによって核沸騰を起こすために追加する必要がある顕熱が減り、よりコンパクトな設計となる。通常の全出力条件下では、配管損失を相殺する水頭の追加のために二次流体再循環ポンプ36が使用される。低出力条件下では、再循環ポンプ36を迂回することができ、蒸気ドラムを適当な高さに配置して二次流体を確実に自然循環させる。

10

**【0026】**

本実施態様における蒸気発生器の熱交換器部分のその他の選択肢として伝熱管58の様々な構成があるが、これには、一次冷却材が伝熱管の外側にあつて、再循環液がそれらの伝熱管、ヘリカルコイル管、およびU字管内を搬送される構成（これに限定されない）が含まれる。本明細書に記載する構成は、一体型ではない設計の加圧水型原子炉にも使用することができる。

**【0027】**

一般に、再循環蒸気発生プロセスでは、以下の機能を果たす必要がある。

1. 二次冷却材が自然循環または強制循環により伝熱面域上を流れる。
2. 一次冷却材（即ち、原子炉冷却材）から二次冷却材へ熱が伝達され、乾き度の低い飽和混合物の流れが形成される。
3. 様々な手法（遠心式、シェブロン式、重力式気水分離法を含む）により飽和混合物から蒸気が分離される。
4. 給水が予熱され、気水分離器から流出する飽和再循環液と混合される。

20

**【0028】**

本発明は、典型的な加圧水型原子炉用の蒸気発生器から気水分離および給水予熱の機能を取り去り原子炉冷却系の外へ移すことにより、その構成を変更する。このような変更が可能なのは、一体型モジュール式小型炉は、一体型蒸気発生器を使用する従来の大型加圧水型原子炉施設に比べて、要求される再循環水の流量が少ないためである。この変更の結果として、一体型原子炉冷却系内において必要とされる空間が有意に縮小する。

30

**【0029】**

通常のプラント運転時に、プラント発電システムは、蒸気ドラムの主蒸気出口からの流れを使用して運転される。蒸気ドラムの連続的な運転は、給水を注入して、蒸気流の質量損失を補うとともに、気水分離器から排出される飽和液をサブクールすることによって維持される。ポンプのキャピテーションを防止するために再循環ポンプに必要な正味の正の吸込水頭を提供する上で、飽和液の給水サブクーリングと、蒸気ドラム中の液柱によって与えられる位置水頭が必要である。またこの混合は、蒸気発生器の熱交換器中で二次流体を沸騰させるために追加する必要がある顕熱を減らすことにもなる。

**【0030】**

再循環ポンプは、蒸気発生器のシェル側を介して、二次冷却材を連続的に強制循環させる。蒸気発生器の熱交換器による一次冷却材からの熱伝達は、二次流体の顕熱および潜熱を増加させ、蒸気発生器の熱交換器出口44に飽和した二相混合流を発生させる。この混合流の乾き度は、蒸気発生器表面積、再循環ポンプ流量、および原子炉出力の関数である。

40

**【0031】**

給水喪失事象が起きた場合、保護措置として原子炉がトリップする。蒸気ドラムを使用すると、蒸気発生器の熱交換器を介する強制循環（利用可能な場合）または自然循環による残留熱除去のための大きな熱質量が得られる。現行の加圧水型原子炉設計指針と同様に、二次冷却材は通常汚染されていないので、復水器または大気への蒸気の放出による除熱が許容される。

50

## 【 0 0 3 2 】

蒸気発生器の細管破断 / 崩壊事象が生じた場合、隔離弁 7 2 を使用して二次流体冷却ループ 3 8 が隔離される。格納容器エンベロープ 3 4 内の蒸気発生器の熱交換器および配管は、設計圧力が原子炉容器 1 0 と同じなので、原子炉冷却系が過圧を防止する。最終的には、受動的プラント安全システムが余熱を除去する。

## 【 0 0 3 3 】

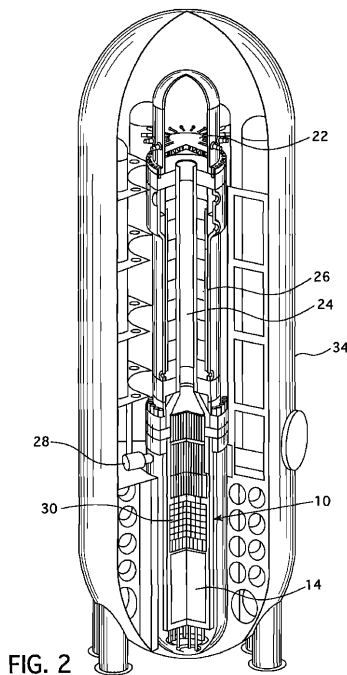
したがって、この構成は、総合的な熱伝達係数と対数平均温度差を最大にすることにより、蒸気発生器による熱伝達能力を高める。

## 【 0 0 3 4 】

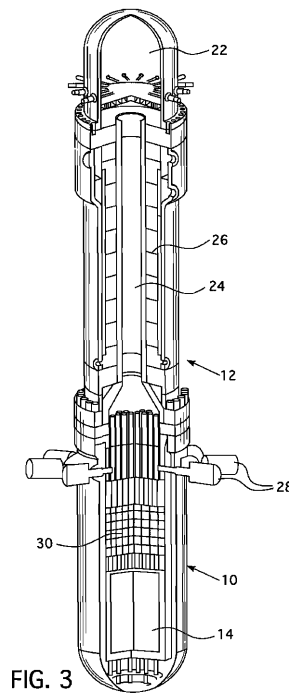
本発明のある特定の実施態様について詳しく説明してきたが、当業者は、本開示書全体の教示するところに照らして、これら詳述した実施態様に対する種々の変更および代替への展開が可能である。したがって、ここに開示したある特定の実施態様は説明目的だけのものであり、本発明の範囲を何らも制約せず、本発明の範囲は添付の特許請求の範囲に記載の全範囲およびその全ての均等物である。

10

【 図 2 】



【 図 3 】





【 図 4 】

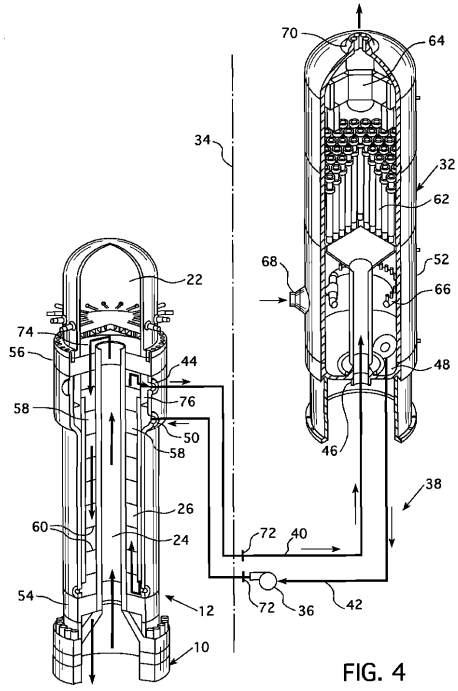


FIG. 4

【 図 1 】

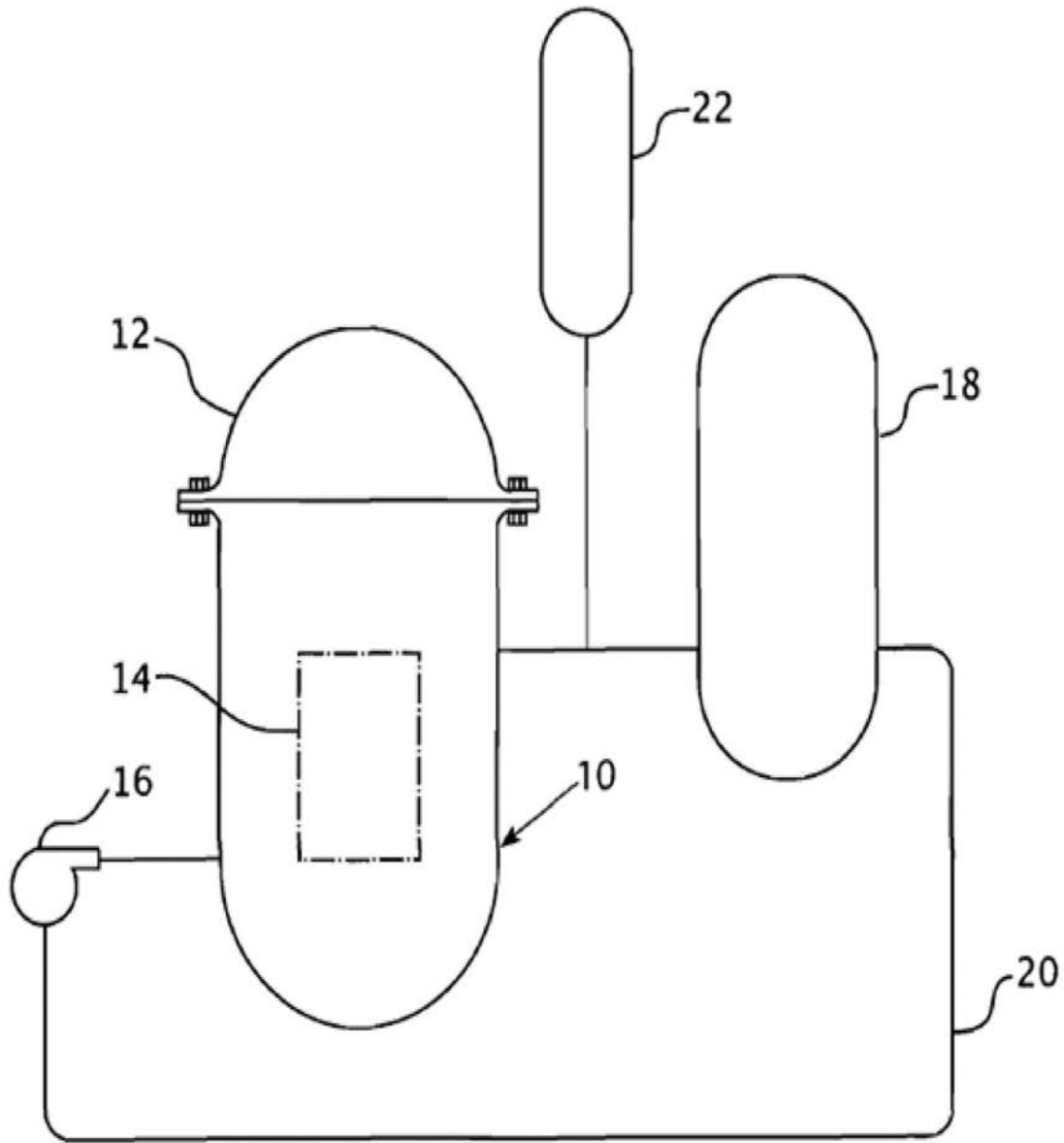


図 1 先行技術

## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US13/43555

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC(8) - G21C 1/32, 15/12, 15/16 (2013.01) USPC - 378/918, 406, 294 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																			
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC(8) Classification(s): G21C 1/32, 15/12, 15/16, 15/24, 15/243 (2013.01) USPC Classification(s): 378/918, 406, 294, 366, 293 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) MicroPatent (US Granted, US Applications, EP-A, EP-B, WO, JP, DE-G, DE-A, DE-T, DE-U, GB-A, FR-A); DialogPro (Derwent, INSPEC, NTIS, PASCAL, Current Contents Search, Dissertation Abstracts Online, Inside Conferences); IP.com; IEEE.com; Google Scholar; Search Terms Used: PWR, integral pressurized water reactor, external steam drum separator, iPWR																			
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>FETTERMAN, R. et al. 'The Westinghouse SMR'. Nuclear Engineering International [online]. April 20 2012, [retrieved on 2013-09-04]. Retrieved from the Internet: &lt;URL: <a href="http://www.neimagazine.com/features/featurethe-westinghouse-smr">http://www.neimagazine.com/features/featurethe-westinghouse-smr</a>&gt; Entire document.</td> <td>1-3, 9-11 —</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>SHULYAK, N. 'Westinghouse Small Modular Reactor Development Overview'. INPRO Dialogue Forum on Nuclear Energy Innovations: Common User Considerations for Small and Medium-sized Nuclear Power Reactors. 3rd. Vienna, Austria. July 24, 2011 [retrieved on 2013-09-04]. Retrieved from the Internet: &lt;URL: <a href="http://www.iaea.org/INPRO/3rd_Dialogue_Forum/12.SMR-Westinghouse.pdf">http://www.iaea.org/INPRO/3rd_Dialogue_Forum/12.SMR-Westinghouse.pdf</a>&gt;. Entire document.</td> <td>4-5</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>US 5,158,742 A (DILLMANN, C.) October 27, 1992, figures 1-2, column 7, line 63- column 8, line 68.</td> <td>6-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>Westinghouse AP1000 Design Control Document [online]. Revision 19. June 21, 2011. [retrieved on 2013-09-04]. Retrieved from the Internet: &lt;URL: <a href="http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1117/ML11171A500.html">http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1117/ML11171A500.html</a>&gt;</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 3,401,082 A (AMMON, J. et al.) September 10, 1968, Entire document.</td> <td>1-11</td> </tr> </tbody> </table>	Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	FETTERMAN, R. et al. 'The Westinghouse SMR'. Nuclear Engineering International [online]. April 20 2012, [retrieved on 2013-09-04]. Retrieved from the Internet: <URL: <a href="http://www.neimagazine.com/features/featurethe-westinghouse-smr">http://www.neimagazine.com/features/featurethe-westinghouse-smr</a> > Entire document.	1-3, 9-11 —	Y	SHULYAK, N. 'Westinghouse Small Modular Reactor Development Overview'. INPRO Dialogue Forum on Nuclear Energy Innovations: Common User Considerations for Small and Medium-sized Nuclear Power Reactors. 3rd. Vienna, Austria. July 24, 2011 [retrieved on 2013-09-04]. Retrieved from the Internet: <URL: <a href="http://www.iaea.org/INPRO/3rd_Dialogue_Forum/12.SMR-Westinghouse.pdf">http://www.iaea.org/INPRO/3rd_Dialogue_Forum/12.SMR-Westinghouse.pdf</a> >. Entire document.	4-5	Y	US 5,158,742 A (DILLMANN, C.) October 27, 1992, figures 1-2, column 7, line 63- column 8, line 68.	6-8	A	Westinghouse AP1000 Design Control Document [online]. Revision 19. June 21, 2011. [retrieved on 2013-09-04]. Retrieved from the Internet: <URL: <a href="http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1117/ML11171A500.html">http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1117/ML11171A500.html</a> >	8	A	US 3,401,082 A (AMMON, J. et al.) September 10, 1968, Entire document.	1-11	<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																	
X	FETTERMAN, R. et al. 'The Westinghouse SMR'. Nuclear Engineering International [online]. April 20 2012, [retrieved on 2013-09-04]. Retrieved from the Internet: <URL: <a href="http://www.neimagazine.com/features/featurethe-westinghouse-smr">http://www.neimagazine.com/features/featurethe-westinghouse-smr</a> > Entire document.	1-3, 9-11 —																	
Y	SHULYAK, N. 'Westinghouse Small Modular Reactor Development Overview'. INPRO Dialogue Forum on Nuclear Energy Innovations: Common User Considerations for Small and Medium-sized Nuclear Power Reactors. 3rd. Vienna, Austria. July 24, 2011 [retrieved on 2013-09-04]. Retrieved from the Internet: <URL: <a href="http://www.iaea.org/INPRO/3rd_Dialogue_Forum/12.SMR-Westinghouse.pdf">http://www.iaea.org/INPRO/3rd_Dialogue_Forum/12.SMR-Westinghouse.pdf</a> >. Entire document.	4-5																	
Y	US 5,158,742 A (DILLMANN, C.) October 27, 1992, figures 1-2, column 7, line 63- column 8, line 68.	6-8																	
A	Westinghouse AP1000 Design Control Document [online]. Revision 19. June 21, 2011. [retrieved on 2013-09-04]. Retrieved from the Internet: <URL: <a href="http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1117/ML11171A500.html">http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1117/ML11171A500.html</a> >	8																	
A	US 3,401,082 A (AMMON, J. et al.) September 10, 1968, Entire document.	1-11																	
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family																		
Date of the actual completion of the international search 4 September 2013 (04.09.2013)	Date of mailing of the international search report 21 OCT 2013																		
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-3201	Authorized officer: Shane Thomas PCT Helpdesk: 571-273-4300 PCT OSP: 571-272-7774																		

---

 フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC

(72)発明者 ハークネス、アレクサンダー、ダブリュ

アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 15044 ギブソニア ハーツ・ロード 5393

(72)発明者 テイラー、クリード

アメリカ合衆国 テネシー州 37377 シグナル・マウンテン ハサウェイ・ドライブ 605

(72)発明者 カミンズ、ウィリアム、イー

アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 15202 ピッツバーグ ウィルソン・ドライブ 30