

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5876320号
(P5876320)

(45) 発行日 平成28年3月2日(2016.3.2)

(24) 登録日 平成28年1月29日(2016.1.29)

(51) Int. Cl. F I
G 2 1 C 15/18 (2006.01)
 G 2 1 C 15/18 G D B A
 G 2 1 C 15/18 E
 G 2 1 C 15/18 R
 G 2 1 C 15/18 L

請求項の数 9 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2012-37424 (P2012-37424)	(73) 特許権者	507250427
(22) 出願日	平成24年2月23日 (2012. 2. 23)		日立GEニュークリア・エナジー株式会社
(65) 公開番号	特開2013-174447 (P2013-174447A)		茨城県日立市幸町三丁目1番1号
(43) 公開日	平成25年9月5日 (2013. 9. 5)	(74) 代理人	110000350
審査請求日	平成26年8月1日 (2014. 8. 1)		ポレール特許業務法人
		(72) 発明者	上達野 健一
			茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研究所内
		(72) 発明者	茶木 雅夫
			茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研究所内
		(72) 発明者	木藤 和明
			茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 原子カプラント

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

内部に互いに隔離されたドライウェル、及び冷却水が充填された圧力抑制プールを形成している圧力抑制室を有する第1原子炉格納容器と、前記第1原子炉格納容器内のドライウェルに設置された原子炉圧力容器と、前記第1原子炉格納容器を取り囲み、前記第1原子炉格納容器を間に介在させて前記圧力抑制プールと隣り合う冷却水が充填された冷却水プールを底部に形成している第2原子炉格納容器と、蒸気排出装置と、原子炉冷却装置とを備え、

蒸気排出装置は、前記原子炉圧力容器に接続され、さらに前記圧力抑制プールの冷却水に浸漬された蒸気排出管、及び前記蒸気排出管に設けられた第1開閉弁を有し、

前記原子炉冷却装置は、前記原子炉圧力容器内に設置されて冷媒を蒸発させる蒸発器、前記冷却水プールの上方で前記第1原子炉格納容器と前記第2原子炉格納容器の間に形成された内部空間に配置され、前記蒸発器で生成される前記冷媒の蒸気を凝縮する凝縮器、前記原子炉圧力容器の側壁及び前記第1原子炉格納容器の側壁を貫通して前記蒸発器と前記凝縮器を連絡し、前記蒸発器で発生する前記冷媒の蒸気を前記凝縮器に導く第1管路、前記原子炉圧力容器の側壁及び前記第1原子炉格納容器の側壁を貫通して前記凝縮器と前記蒸発器を連絡し、前記凝縮器で生成される前記冷媒の液体を前記凝縮器に導く第2管路、及び第1管路及び第2管路のいずれかに設けられた第2開閉弁を備え、

前記凝縮器が配置された前記内部空間が、前記第2原子炉格納容器の、前記凝縮器よりも上方に位置する頂部に設置された空気排出部に連絡され、さらに、前記冷却水プールの

液面よりも上方で前記凝縮器よりも下方において前記第 2 原子炉格納容器の側壁に設置された空気供給部に連絡され、

前記凝縮器が、前記空気供給部から前記空気排出部に向かって前記内部空間内を上昇する空気によって、前記冷媒の蒸気を凝縮する凝縮器であることを特徴とする原子力プラント。

【請求項 2】

冷却水が充填される冷却水容器、前記冷却水容器と前記原子炉圧力容器を接続する冷却水注入管、及び前記冷却水注入管に設けられた注入弁を有する原子炉注水装置を備えた請求項 1 に記載の原子力プラント。

【請求項 3】

前記蒸発器を原子炉圧力容器内の通常の水位よりも上方に配置した請求項 1 または 2 に記載の原子力プラント。

【請求項 4】

前記第 2 管路が、前記冷却水プール及び前記圧力抑制プール内に配置された請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の原子力プラント。

【請求項 5】

圧縮機を前記第 1 管路に設け、前記原子炉圧力容器内の蒸気が供給されて回転するターボモータが前記圧縮機に連結され、前記第 2 管路に設けられた前記第 2 開閉弁が膨張弁である請求項 1 または 2 に記載の原子力プラント。

【請求項 6】

前記第 1 開閉弁及び前記第 2 開閉弁にバッテリーが接続されている請求項 1 に記載の原子力プラント。

【請求項 7】

前記注入弁にバッテリーが接続されている請求項 2 に記載の原子力プラント。

【請求項 8】

前記原子炉圧力容器と前記ターボモータに接続される蒸気管に第 3 開閉弁が設けられ、前記第 3 開閉弁にバッテリーが接続されている請求項 5 に記載の原子力プラント。

【請求項 9】

前記空気排出部が第 4 開閉弁が設けられた空気排出管であり、前記空気供給部が第 5 開閉弁が設けられた空気供給管であり、前記第 4 開閉弁及び前記第 5 開閉弁にバッテリーが

接続されている請求項 1 に記載の原子力プラント。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、原子力プラントに係り、特に、熱出力が比較的小さい沸騰水型原子力プラントに適用可能な原子力プラントに関する。

【背景技術】

【0002】

原子力プラント（例えば、沸騰水型原子力プラント）では、運転停止後においても、原子炉圧力容器内の炉心に装荷された複数の燃料集合体に含まれる核燃料物質において発生する崩壊熱を除去するために、炉心に冷却水を供給して燃料集合体を冷却する必要がある。通常は、原子力プラントの運転停止後において、原子炉圧力容器内の冷却水の一部を原子炉圧力容器に接続している配管に排出し、排出された冷却水をこの配管に接続された熱交換器において海水と熱交換することにより冷却し、冷却された冷却水戻り配管を通して原子炉圧力容器に戻される。このように、原子力プラントの運転停止後に、原子炉圧力容器内の冷却水を海水と熱交換することによって、核燃料物質の崩壊熱を除去している。

【0003】

このような原子力プラントは、原子炉圧力容器内の冷却水の上記の熱交換器への供給、及びこの熱交換器への海水の供給に電動ポンプを使用しており、原子力プラント停止後の崩壊熱の除去には電動ポンプを駆動する電気が必要である。原子力プラントの停止時に外

10

20

30

40

50

部電源が喪失する異常事象が発生した場合には、非常用発電機が駆動されて上記の電動ポンプが駆動され、原子力プラントの停止時における崩壊熱の除去が行われる。

【0004】

冷却材喪失事故が発生したときに、動的機器を用いずに自然の力で炉心の安全性を確保することができ、原子炉の崩壊熱の除去と注水機能を同一の設備で達成した原子炉冷却系が、特開昭62-182697号公報にて提案されている。この原子炉冷却系は、原子炉圧力容器より高い位置に配置されて水で満たされた胴部及び胴部内を長手方向に貫通している管部を有するタンクを、原子炉圧力容器より高い位置に配置している。冷却材喪失事故時には、原子炉圧力容器内の蒸気を胴部内の水中に放出して凝縮させ、胴部内の水を原子炉圧力容器内に注入する。タービントリップ時等により主復水器が使用できない異常な過渡変化時には、原子炉圧力容器内の蒸気を管部に導いて胴部内の水により冷却し、この冷却により管部内で蒸気が凝縮して生成された凝縮水を原子炉圧力容器内に注入する。特開昭62-182697号公報に記載された原子炉冷却系は、冷却材喪失事故時及び異常な過渡変化時のいずれにおいても、原子炉圧力容器内の蒸気を冷却し、重力により原子炉圧力容器に凝縮水を注入することができる。

10

【0005】

特開2011-58866号公報は、全交流電源喪失が発生しかつ原子炉が隔離状態になった場合に炉心内の燃料集合体を冷却する原子炉隔離時コンデンサー、及び重力落下式炉心冷却系を備えた原子力プラントを記載している。原子炉隔離時コンデンサーは、原子炉圧力容器の上方に配置されて冷却水を蓄えたコンデンサープール、コンデンサープール内の冷却水中に設置されたコンデンサー熱交換器、原子炉圧力容器内の蒸気空間に連絡されコンデンサー熱交換器に接続された蒸気供給管、及びコンデンサー熱交換器及び原子炉圧力容器に接続される凝縮水戻り管を有する。重力落下式炉心冷却系は、原子炉圧力容器内の炉心よりも上方に配置されて冷却水が充填された重力落下式炉心冷却系プール、及び重力落下式炉心冷却系プールと原子炉圧力容器を接続する注入配管を有する。

20

【0006】

全交流電源喪失が発生しかつ原子炉が隔離状態になったとき、原子炉圧力容器内の蒸気が蒸気供給管を通してコンデンサー熱交換器に導かれてコンデンサープール内の冷却水により凝縮される。この凝縮により生成された凝縮水は凝縮水戻り管を通して原子炉圧力容器に戻される。全交流電源喪失が発生しかつ原子炉が隔離状態になった場合でも、原子炉圧力容器内の炉心の冷却が原子炉隔離時コンデンサーにより可能になる。また、冷却材喪失事故が発生したときには、重力落下式炉心冷却系プール内の冷却水が注入配管を通して炉心に供給される。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開昭62-182697号公報

【特許文献2】特開2011-58866号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0008】

特開2011-58866号公報に記載された原子炉隔離時コンデンサー及び重力落下式炉心冷却系は、全交流電源喪失が発生した場合においても原子炉圧力容器内の炉心の冷却が可能である。特開昭62-182697号公報に記載された原子炉冷却系は、重力により原子炉圧力容器に凝縮水を注入することができ、原子炉圧力容器とタンクを接続する各配管に設けられた弁をバッテリーで開閉するように構成すれば、全交流電源喪失が発生しても原子炉圧力容器内の炉心の冷却は可能である。

【0009】

しかしながら、

特開昭62-182697号公報などに記載されている非常用復水器は、上述のように

50

電源無しに動作可能となるが、プールに充填された冷却水量が有限であるため、原子炉圧力容器内の炉心を長期間に亘って冷却し続けるためには、原子力プラント外からの冷却水の補給が必要となる。

【0010】

本発明の目的は、原子力プラントの外部からの冷却水の補給を行うことなしに、より長期に亘って炉心の冷却を行うことができる原子力プラントを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記した目的を達成する本発明の特徴は、内部に互いに隔離されたドライウェル、及び冷却水が充填された圧力抑制プールを形成している圧力抑制室を有する第1原子炉格納容器と、第1原子炉格納容器内のドライウェルに設置された原子炉圧力容器と、第1原子炉格納容器を取り囲み、第1原子炉格納容器を間に介在させて圧力抑制プールと隣り合う冷却水が充填された冷却水プールを底部に形成している第2原子炉格納容器と、蒸気排出装置と、原子炉冷却装置とを備え、

蒸気排出装置は、原子炉圧力容器に接続され、さらに圧力抑制プールの冷却水に浸漬された蒸気排出管、及び蒸気排出管に設けられた第1開閉弁を有し、

原子炉冷却装置は、原子炉圧力容器内に設置されて冷媒を蒸発させる蒸発器、冷却水プールの上方で第1原子炉格納容器と第2原子炉格納容器の間に形成された内部空間に配置され、蒸発器で生成される冷媒の蒸気を凝縮する凝縮器、原子炉圧力容器の側壁及び第1原子炉格納容器の側壁を貫通して蒸発器と凝縮器を連絡し、蒸発器で発生する冷媒の蒸気を凝縮器に導く第1管路、原子炉圧力容器の側壁及び第1原子炉格納容器の側壁を貫通して凝縮器と蒸発器を連絡し、凝縮器で生成される冷媒の液体を凝縮器に導く第2管路、及び第1管路及び第2管路のいずれかに設けられた第2開閉弁を備え、

凝縮器が配置された内部空間が、第2原子炉格納容器の、凝縮器よりも上方に位置する頂部に設置された空気排出部に連絡され、さらに、冷却水プールの液面よりも上方で凝縮器よりも下方において第2原子炉格納容器の側壁に設置された空気供給部に連絡され、

その凝縮器が、空気供給部から空気排出部に向かって内部空間内を上昇する空気によって、蒸発器で発生する冷媒の蒸気を凝縮する凝縮器であることにある。

【0012】

好ましく、冷却水が充填される冷却水容器、冷却水容器と原子炉圧力容器を接続する冷却水注入管、及び冷却水注入管に設けられた注入弁を有する原子炉注水装置を備えていることが望ましい。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、原子力プラントの外部からの冷却水の補給を行うことなしに、より長期に亘って炉心の冷却を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の好適な一実施例である実施例1の原子力プラントの構成図である。

【図2】原子力プラントの停止後において原子炉圧力容器内の炉心にて発生する崩壊熱の時間変化を示す説明図である。

【図3】本発明の他の実施例である実施例2の原子力プラントの構成図である。

【図4】本発明の他の実施例である実施例3の原子力プラントの構成図である。

【図5】本発明の他の実施例である実施例4の原子力プラントの構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

原子力プラントの停止後において原子炉圧力容器内の炉心に装荷された燃料集合体に含まれた核燃料物質により発生する崩壊熱は、図2に示すように、核燃料物質に含まれる短半減期核種により初期の崩壊熱が大きく、原子力プラントの停止時からの時間の経過と共に短半減期核種が少なくなるために発生する崩壊熱が徐々に下がっていく。この結果に基

10

20

30

40

50

づいて、発明者らは、相変化による潜熱及び熱容量が大きい水を用いて原子力プラントの停止後の初期における崩壊熱を除熱し、長期的には、空気により除熱し続けるハイブリッド型の原子炉冷却システムを構築すれば良いとの結論に達した。

【0016】

これにより、原子力プラントの電源が喪失したときに、冷却水の補給等の原子力プラント外部からの支援無しに、長期間に亘って原子炉を冷却し続けることができる。

【0017】

上記の検討結果を反映した、本発明の実施例を以下に説明する。

【実施例1】

【0018】

本発明の好適な一実施例である原子力プラントを、図1を用いて説明する。

【0019】

本実施例の原子力プラント1は、沸騰水型原子力プラントであり、複数の燃料集合体(図示せず)を装荷した炉心(図示せず)を内蔵する原子炉圧力容器2、鋼製の原子炉格納容器3(以下、第1原子炉格納容器という)、原子炉注水装置9及び原子炉冷却装置14を備えている。原子炉圧力容器2は原子炉格納容器3のドライウェル4内に配置される。原子炉格納容器3は、ドライウェル4及びドライウェル4と隔離された圧力抑制室5を有する。圧力抑制室5内には、冷却水が充填された圧力抑制プール6が形成されている。上端部がドライウェル4に連絡されるベント通路(図示せず)の下端部に形成された開口部が圧力抑制プール6の冷却水に浸漬されている。原子炉圧力容器2に接続されて開閉弁21が設けられた蒸気排出管20が圧力抑制室5内に達しており、蒸気排出管20の下端部に形成された開口部が圧力抑制プール6の冷却水に浸漬されている。開閉弁21を有する蒸気排出管20は、蒸気排出装置を構成する。開閉弁21は、所内電源(または外部電源及び非常用電源)からの電気の供給により開閉操作される。これらの電源が喪失したときに備えて、開閉弁21は、配線により第1開閉器(図示せず)を介してバッテリー13Cに接続されている。

【0020】

原子炉格納容器3は原子炉格納容器(または原子炉建屋)7(以下、第2原子炉格納容器という)内に設置されている。第2原子炉格納容器7内でその底部に冷却水を充填した冷却水プール8が形成される。冷却水プール8は第1原子炉格納容器3を間に介在させて圧力抑制プール6に隣り合っている。開閉弁31を設けた空気供給管30が、冷却水プール8の液面より上方で凝縮器16より下方において、第2原子炉格納容器7の側壁に設置される。必要に応じて複数本の、開閉弁31を設けた空気供給管30が、第2原子炉格納容器7の周方向において互いに間隔を置いて、第2原子炉格納容器7の側壁に取り付けられる。開閉弁33を設けた空気排出管32が、第2原子炉格納容器7の天井に取り付けられる。

【0021】

原子炉注水装置9は、冷却水を充填した水タンク10、注入弁11及び注入配管12を有する。注入弁11を設けた注入配管12が、水タンク10と原子炉圧力容器2を接続している。注入弁11は、所内電源(または外部電源及び非常用電源)からの電気の供給により開閉操作される。これらの電源が喪失したときに備えて、注入弁11は、配線により第2開閉器(図示せず)を介してバッテリー13Aに接続されている。

【0022】

原子炉冷却装置14は、蒸発器15、凝縮器16、蒸気管(第1管路)18及び液管(第2管路)19を有する。蒸発器15及び凝縮器16は一種の熱交換器である。原子力プラント1には、一基しか図示されていないが、複数の原子炉冷却装置14が設けられている。蒸発器15が原子炉圧力容器2内に配置され、凝縮器16が第1原子炉格納容器3の外部で第2原子炉格納容器7内の内部空間22に配置される。蒸気管18が蒸発器15と凝縮器16を接続しており、液管19が凝縮器16と蒸発器15を接続している。凝縮器16は蒸発器15よりも高い位置に配置されている。このため、原子炉圧力容器2及び第

10

20

30

40

50

1 原子炉格納容器 3 を貫通している蒸気管 1 8 及び液管 1 9 は、凝縮器 1 6 から蒸発器 1 5 に向かって傾斜して配置されている。開閉弁 1 7 が液管 1 9 に設けられる。開閉弁 1 7 は、所内電源（または外部電源及び非常用電源）からの電気の供給により開閉操作される。これらの電源が喪失したときに備えて、開閉弁 1 7 は、配線により第 3 開閉器（図示せず）を介してバッテリー 1 3 B に接続されている。開閉弁 1 7 は液管 1 9 ではなく蒸気管 1 8 に設けてもよい。

【 0 0 2 3 】

原子力プラント 1 の運転が停止されて所内電源、外部電源及び非常用電源が喪失している状態を想定する。このとき、操作員が第 1 開閉器を閉じることによりバッテリー 1 3 C から開閉弁 2 1 に電気が供給され、開閉弁 2 1 が開いて原子炉圧力容器 2 内の蒸気が圧力抑制プール 6 内の冷却水中に放出されて凝縮される。原子炉圧力容器 2 内の蒸気が圧力抑制プール 6 に放出されるため、原子炉圧力容器 2 内の圧力が低下する。原子力プラント停止後の初期において、原子炉圧力容器 2 内の蒸気を圧力抑制プール 6 に放出して冷却水で凝縮することにより、原子力プラント停止後の初期段階において原子炉圧力容器 2 内の炉心に装荷された各燃料集合体で発生する崩壊熱を、圧力抑制プール 6 内の冷却水の顕熱及び潜熱にて除熱することができる。蒸気の凝縮により圧力抑制プール 6 内の冷却水の温度が上昇するが、この冷却水の保有する熱量は、鋼製の第 1 原子炉格納容器 3 の側壁を介して冷却水プール 8 の冷却水に伝えられる。このため、各燃料集合体で発生する崩壊熱は、冷却水プール 8 の冷却水の顕熱及び潜熱によっても除熱することができる。

【 0 0 2 4 】

開閉弁 2 1 が開くと同時に（または圧力抑制プール 6 内への蒸気の放出によって原子炉圧力容器 2 内の圧力が低下した後、）、操作員が第 2 開閉器を閉じることによりバッテリー 1 3 A から注入弁 1 1 に電気が供給され、注入弁 1 1 が開く。水タンク 1 0 内の冷却水は重力落下により注入配管 1 2 を通して原子炉圧力容器 2 内に注入される。原子炉圧力容器 2 内の炉心に装荷されている各燃料集合体は、注入配管 1 2 により注入された冷却水により冷却される。水タンク 1 0 からの冷却水の注入により、原子炉圧力容器 2 内の冷却水量を確保することができ、炉心の冠水を維持することができる。

【 0 0 2 5 】

原子力プラント停止後、所定の時間が経過した後、操作員が第 3 開閉器を閉じることによりバッテリー 1 3 B から開閉弁 1 7 に電気が供給されて開閉弁 1 7 が開き、操作員が第 1 開閉器を開けることによりバッテリー 1 3 C からの電気により開閉弁 2 1 が全閉にされる。蒸発器 1 5、凝縮器 1 6、蒸気管 1 8 及び液管 1 9 内には冷媒（例えば、水）が充填されている。冷媒は、蒸発器 1 5 において原子炉圧力容器 2 内の高温の冷却水（または蒸気）によって加熱されて蒸発し、蒸気になる。冷媒の蒸気は、蒸気管 1 8 内を上昇して凝縮器 1 6 に達する。凝縮器 1 6 内の冷媒の蒸気は、冷却プール 8 の上方で第 1 原子炉格納容器 3 と第 2 原子炉格納容器 7 の間に存在する内部空間 2 2 内の空気によって冷却され、冷媒の液体になる。冷媒の液体は、液管 1 9 内を下降して蒸発器 1 5 に流入する。蒸発器 1 5 内で、前述したように、液体の冷媒は原子炉圧力容器 2 内の高温の冷却水（または蒸気）によって加熱されて蒸気になる。そして、冷媒の蒸気は、凝縮器 1 6 で凝縮される。

【 0 0 2 6 】

冷媒が、蒸発器 1 5、蒸気管 1 8、凝縮器 1 6、液管 1 9 及び蒸発器 1 5 と循環され、原子炉圧力容器 2 内の冷却水の熱を内部空間 2 2 内の空気に伝え、原子炉圧力容器 2 内の冷却水を冷却する。すなわち、冷媒が、上記のように、蒸発器 1 5 と凝縮器 1 6 の間を冷却しながら原子炉圧力容器 2 内の冷却水を冷却し、炉心内の燃料集合体で発生する崩壊熱が、原子炉冷却装置 1 4 により内部空間 2 2 に放出される。

【 0 0 2 7 】

原子力プラント 1 の運転が停止されて所内電源、外部電源及び非常用電源が喪失している状態では、バッテリー（図示せず）から供給される電気により開閉弁 3 1、3 3 が開けられる。これにより、内部空間 2 2 と第 2 原子炉格納容器 7 の外部が空気供給管 3 0 及び空気排出管 3 2 より連通される。このため、空気供給管 3 0 より第 2 原子炉格納容器 7 外

10

20

30

40

50

の空気が内部空間 2 2 に供給される。内部空間 2 2 内の空気は、凝縮器 1 6 から放出される熱により加熱されて内部空間 2 2 内を上昇し、空気排出管 3 2 を通して第 2 原子炉格納容器 7 の外部に排出される。このため、原子炉冷却装置 1 4 内の冷媒を原子炉圧力容器 2 と内部空間 2 2 の間で循環させることにより、炉心内の燃料集合体で発生する崩壊熱を継続して第 2 原子炉格納容器 7 の外部に排出することができる。

本実施例は、所内電源、外部電源及び非常用電源が喪失している状態での原子力プラント停止後の初期段階において蒸気排出管 2 0 を通して原子炉圧力容器 2 内の蒸気を圧力抑制プール 6 の冷却水中に排出するので、燃料集合体内の核燃料物質の崩壊熱により発生する蒸気を圧力抑制プール 6 の冷却水により除去することができる。このため、原子力プラント停止後の初期段階において発生する上記の崩壊熱を圧力抑制プール 6 の冷却水の水冷により除去することができる。圧力抑制プール 6 の冷却水の温度が高くなると、圧力抑制プール 6 の冷却水は冷却水プール 8 の冷却水により冷却される。これは、結果的には、その崩壊熱が冷却水プール 8 の冷却水により冷却されることになる。

【 0 0 2 8 】

開閉弁 2 1 が開くと同時に、または蒸気の放出によって原子炉圧力容器 2 内の圧力が低下した後、注入弁 1 1 が開くので、原子力プラント停止後の初期段階において、水タンク 1 0 内の冷却水を重力落下により原子炉圧力容器 2 内に注入することができる。これにより、複数の燃料集合体が装荷された炉心を冠水させることができ、これらの燃料集合体を水冷することができる。

【 0 0 2 9 】

図 2 に示すように、原子力プラント停止時からある期間を経過すると、炉心内の燃料集合体に含まれた核燃料物質で発生する崩壊熱の発生量が低下する。このときには、水冷ではなく、空冷によりその崩壊熱を除去することができる。空冷による崩壊熱の除去に、冷媒を用いている原子炉冷却装置 1 4 が用いられる。冷媒は、蒸発器 1 5 において原子炉圧力容器 2 内の高温の冷却水（または蒸気）によって加熱されて蒸発して蒸気になり、冷媒の蒸気が凝縮器 1 6 において内部空間 2 2 内の空気により空冷されて冷媒の液体になる。このように、冷媒が蒸発器 1 5 と凝縮器 1 6 の間で循環するので、炉心内の核燃料物質で発生する崩壊熱を長期に亘って除去することができる。

【 0 0 3 0 】

以上述べた本実施例は、上記のように、崩壊熱の熱量が大きい初期段階で蒸気排出装置及び原子炉注水装置 9 を用いた水冷を行い、その後の崩壊熱の熱量が低下した段階では原子炉冷却装置 1 4 による空冷により崩壊熱を除去している。このため、原子力プラントの外部からの冷却水の補給を行うことなしに、より長期に亘って原子炉圧力容器 2 内の炉心の冷却を継続して行うことができる。

【 0 0 3 1 】

さらに、本実施例はバッテリー 1 3 A , 1 3 B 及び 1 3 C を備えているので、原子力プラント 1 の運転が停止されて所内電源、外部電源及び非常用電源が喪失している場合においても、バッテリー 1 3 A , 1 3 B 及び 1 3 C により、注入弁 1 1、開閉弁 1 7 及び開閉弁 2 1 を開くことができ、上記したように、より長期に亘って原子炉圧力容器 2 内の炉心の冷却を継続して行うことができる。

【 0 0 3 2 】

また、原子力プラントの停止後において所内電源、外部電源及び非常用電源のいずれかの電源から電気が供給される場合には、注入弁 1 1、及び開閉弁 1 3 B , 1 3 C は、この電気により開き、上記した冷却が行われる。

【実施例 2】

【 0 0 3 3 】

本発明の他の実施例である原子力プラントを、図 3 を用いて説明する。

【 0 0 3 4 】

本実施例の原子力プラント 1 A は、実施例 1 の原子力プラント 1 において蒸発器 1 5 を、原子炉圧力容器 2 内における、通常の運転時の水位（NWL）よりも上方に配置した構

10

20

30

40

50

成を有する。原子カプラント 1 A の他の構成は実施例 1 の原子カプラント 1 と同じである。本実施例の原子カプラント 1 A は、沸騰水型原子カプラントである。

【 0 0 3 5 】

本実施例は実施例 1 で生じる各効果を得ることができる。さらに、本実施例によれば、蒸発器 1 5 が原子炉压力容器 2 内において乾き度の大きい蒸気空間に配置されることになり、冷却水中に配置される場合と比較して、原子炉冷却装置 1 4 への熱伝達性能が優れているため、伝熱に要する面積を少なくすることができ、蒸発器 1 5 を小型化することができる。

【実施例 3】

【 0 0 3 6 】

本発明の他の実施例である原子カプラントを、図 4 を用いて説明する。

【 0 0 3 7 】

本実施例の原子カプラント 1 B は、沸騰水型原子カプラントであり、実施例 1 の原子カプラント 1 において原子炉冷却装置 1 4 の液管 1 9 を冷却水プール 8 及び圧力抑制プール 6 内に配置した構成を有する。原子カプラント 1 B の他の構成は実施例 1 の原子カプラント 1 と同じである。

【 0 0 3 8 】

本実施例において、内部空間 2 2 に配置された凝縮器 1 6 に接続された液管 1 9 が、第 1 原子炉格納容器 3 の外側で内部空間 2 2 内に配置され、第 2 原子炉格納容器 7 の底部に向かって伸びて冷却水プール 8 内に配置され、冷却水プール 8 の冷却水中で底面に沿って伸びて圧力抑制プール 6 の冷却水内に配置される。この液管 1 9 は、さらに、圧力抑制プール 6 の冷却水中で圧力抑制プール 6 の底面に沿ってドライウェル 4 に向かって伸び、ドライウェル 4 内で上方に向かって伸びて原子炉压力容器 2 内の蒸発器 1 5 に接続される。

【 0 0 3 9 】

本実施例は実施例 1 で生じる各効果を得ることができる。本実施例では、液管 1 9 が冷却水プール 8 及び圧力抑制プール 6 のそれぞれの冷却水中に配置されるため、液管 1 9 内の冷媒の液体をそれぞれの冷却水で冷却することができ、冷媒の液体の温度をさらに低下させることができる。液管 1 9 内を流れる冷媒の液体の温度が下がると、蒸発器 1 5 で発生する冷媒の蒸気の流量が減少し、蒸気管 1 8 内における蒸気流速が低下する。液管 1 9 内での摩擦損失は増加するが、原子炉冷却装置 1 4 全体の圧力損失は蒸気管 1 8 内の摩擦損失が支配的である。このため、蒸気管 1 8 内における蒸気流速の低下は、原子炉冷却装置 1 4 全体の圧力損失が小さくなり、原子炉冷却装置 1 4 における熱輸送限界が向上する。

【実施例 4】

【 0 0 4 0 】

本発明の他の実施例である原子カプラントを、図 5 を用いて説明する。

【 0 0 4 1 】

本実施例の原子カプラント 1 C は、沸騰水型原子カプラントであり、実施例 1 の原子カプラント 1 に圧縮機 2 3 及びターボモータ 2 4 を追加した構成を有する。原子カプラント 1 C の他の構成は実施例 1 の原子カプラント 1 と同じである。

【 0 0 4 2 】

ターボモータ 2 4 に連結される圧縮機 2 3 は蒸気管 1 8 に設けられる。開閉弁 2 5 が設けられる蒸気管 2 6 がターボモータ 2 4 の蒸気流入口に接続される。ターボモータ 2 4 の蒸気流出口に接続される蒸気排出管 2 7 が圧力抑制プール 6 の冷却水中まで伸びている。開閉弁 2 5 は、所内電源（または外部電源及び非常用電源）からの電気の供給により開閉操作される。これらの電源が喪失したときに備えて、開閉弁 2 5 にはバッテリー 1 3 D が接続されている。本実施例では、バッテリー 1 3 B が接続される膨張弁 2 8 が液管 1 9 に設けられる。

【 0 0 4 3 】

原子カプラント 1 の運転が停止されて所内電源、外部電源及び非常用電源が喪失してい

10

20

30

40

50

る状態を想定する。原子力プラント1Cの運転が停止された後、初期段階においては、実施例1と同様に、開閉弁21がバッテリー13Cからの電気によって開き、原子炉压力容器2内の蒸気が蒸気排出管20を通過して圧力抑制プール6内に放出され、凝縮される。また、開閉弁21が開くと同時に（または圧力抑制プール6内への蒸気の放出によって原子炉压力容器2内の圧力が低下した後、）、バッテリー13Aから電気によって注入弁11が開き、水タンク10内の冷却水が原子炉压力容器2内に注入される。

【0044】

原子力プラント停止後、所定の時間が経過した後、バッテリー13Bから膨張弁28に電気が供給されて膨張弁28が開き、バッテリー13Dから開閉弁25に電気が供給されて開閉弁25が開く。蒸発器15、凝縮器16、蒸気管18及び液管19内には冷媒が充填されており、実施例1と同様に、蒸発器15で冷媒が蒸発し、蒸気になる。冷媒の蒸気は、蒸気管18内を上昇して圧縮機23に達する。一方、原子炉压力容器2内の蒸気が、蒸気管26によりターボモータ24に供給され、ターボモータ24が回転する。ターボモータ24の回転が圧縮機23に伝えられ、圧縮機23も回転する。ターボモータ24の蒸気流出口から排出された蒸気は、蒸気排出管27を通して圧力抑制プール6の冷却水中に放出され、凝縮される。原子炉压力容器2内の圧力が高いとき（例えば、1MPa以上）には、ターボモータ24は、原子力压力容器2内の蒸気により駆動され、圧縮機23を回転させる。原子炉压力容器2内の圧力が、例えば、1MPa未満になったときには、ターボモータ24の回転が停止される。このとき、原子炉冷却装置14内の冷媒は、実施例1と同様に、蒸発器15、蒸気管18、凝縮器16、液管19及び蒸発器15と循環される。蒸気管18内を流れる冷媒の蒸気は圧縮機23内を通過して凝縮器16に達する。このようにして、原子炉压力容器2内の冷却水の熱が内部空間22内の空気に伝えられ、原子炉压力容器2内の冷却水が冷却される。

【0045】

圧縮機23内に到達した冷媒の蒸気は、圧縮機23の回転により圧縮され、温度が上昇する。温度が上昇した冷媒の蒸気が凝縮器16に導かれ、この蒸気は凝縮器16において内部空間22の空気によって冷却され、凝縮する。凝縮によって生成された冷媒の液体は、液管19を通過して膨張弁28で膨張されて温度が低下され、蒸発器15に供給される。冷媒の液体は蒸発器15で再び蒸気になる。

【0046】

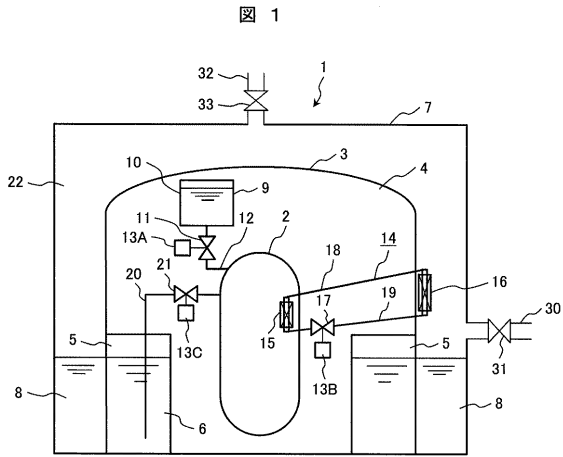
本実施例は実施例1で生じる各効果を得ることができる。さらに、本実施例では、圧縮機23により冷媒の蒸気の温度を上昇させることができるため、凝縮器16において冷媒の蒸気の温度と内部空間22での空気の温度の差を大きくする、すなわち、熱落差を大きくとることができる。また、ふく射伝熱の効果も大きくなる。この結果、冷媒の蒸気から内部空間22への放熱量を増加させることができる。また、膨張弁28を通過した後の冷媒の液体の圧力を小さくすることができるため、蒸発器15に流入する冷媒の液体の圧力と原子炉压力容器1内の圧力の差が大きくなるため、蒸発器15の伝熱性能を向上させることができ、蒸発器15を小型化することができる。

【符号の説明】

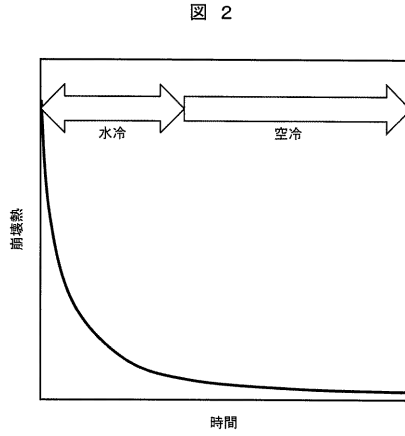
【0047】

1, 1A, 1B, 1C...原子力プラント、2...原子炉压力容器、3...第1原子炉格納容器、4...ドライウェル、5...圧力抑制室、6...圧力抑制プール、7...第2原子炉格納容器、8...冷却水プール、9...原子炉注水装置、10...水タンク、11...注入弁、12...注入配管、13A, 13B, 13C, 13D...バッテリー、14...原子炉冷却装置、15...蒸発器、16...凝縮器、17, 21, 25...開閉弁、18...蒸気管、19...液管、20, 27...蒸気排出管、23...圧縮機、24...ターボモータ、28...膨張弁。

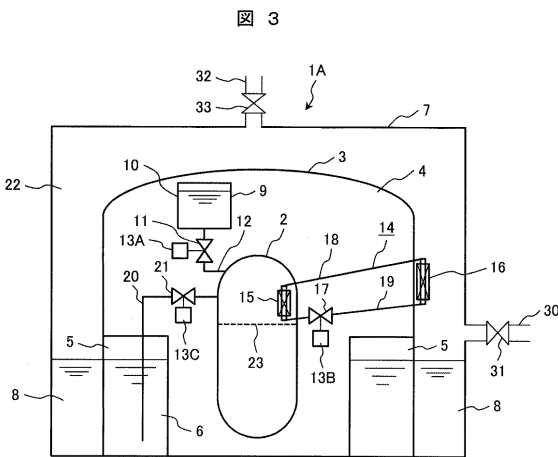
【図1】



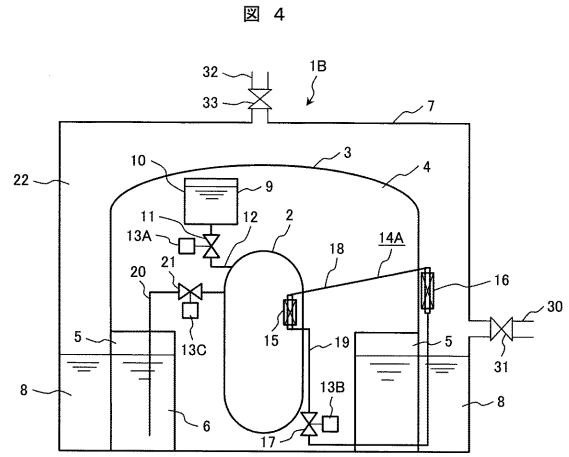
【図2】



【図3】

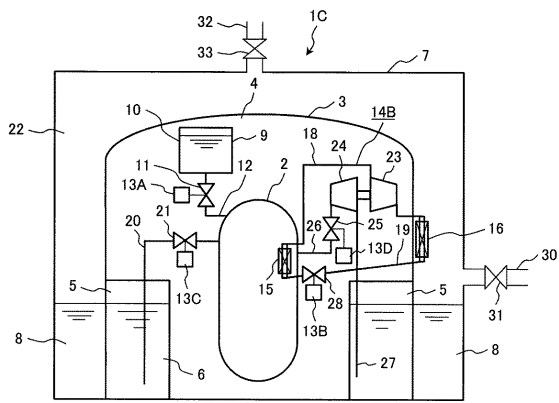


【図4】



【 図 5 】

図 5



フロントページの続き

審査官 後藤 孝平

- (56)参考文献 特開平02 - 253196 (JP, A)
特開平02 - 253195 (JP, A)
特開平05 - 172979 (JP, A)
特開平10 - 039065 (JP, A)
特開昭52 - 021596 (JP, A)
特開2006 - 138744 (JP, A)
特開2011 - 196801 (JP, A)
特開昭61 - 070498 (JP, A)
特開昭63 - 223593 (JP, A)
特開2011 - 122949 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G21C 9/00 - 9/04
G21C 15/00 - 15/28