

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7289032号
(P7289032)

(45)発行日 令和5年6月9日(2023.6.9)

(24)登録日 令和5年6月1日(2023.6.1)

(51)国際特許分類 F I
G 2 1 C 13/00 (2006.01) G 2 1 C 13/00 1 0 0
G 2 1 C 1/32 (2006.01) G 2 1 C 1/32

請求項の数 5 (全7頁)

(21)出願番号	特願2019-500267(P2019-500267)	(73)特許権者	523117742 ニュークレオ リミティド イギリス国, ダブリュ1エイチ 6ディ ーユー, イングランド, ロンドン, ポー トマン ストリート 2
(86)(22)出願日	平成29年7月5日(2017.7.5)	(74)代理人	100099759 弁理士 青木 篤
(65)公表番号	特表2019-525161(P2019-525161 A)	(74)代理人	100123582 弁理士 三橋 真二
(43)公表日	令和1年9月5日(2019.9.5)	(74)代理人	100092624 弁理士 鶴田 準一
(86)国際出願番号	PCT/IB2017/054055	(74)代理人	100114018 弁理士 南山 知広
(87)国際公開番号	WO2018/007961	(74)代理人	100153729 弁理士 森本 有一
(87)国際公開日	平成30年1月11日(2018.1.11)		
審査請求日	令和2年6月25日(2020.6.25)		
審判番号	不服2022-6367(P2022-6367/J1)		
審判請求日	令和4年4月27日(2022.4.27)		
(31)優先権主張番号	102016000069589		
(32)優先日	平成28年7月5日(2016.7.5)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	イタリア(IT)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 上昇式熱交換器を備えた原子炉

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

炉心(4)の上方にある高温コレクタ(6)と、前記高温コレクタ(6)を取り囲み、分離構造体(5)によって分離される低温コレクタ(7)であって、前記炉心(4)を冷却するために一次流体(F)が循環する低温コレクタと、を収容する原子炉容器(2)を具備する原子炉(1)であって、

前記原子炉は、前記高温コレクタ(6)から流入する一次流体を底部から提供するように構成される少なくとも1つの熱交換器(10)を具備する、原子炉において、

前記熱交換器(10)は、前記低温コレクタ(7)内の二次流体の自由表面(H4)にて周方向出口窓(17)を有し、

前記熱交換器(10)は、内部に循環ポンプ(9)を収容し、該循環ポンプ(9)は、作動時に、前記低温コレクタ(7)内の一次流体の高さが、前記高温コレクタ(6)内の一次流体の高さよりも高くなるように加圧し、前記熱交換器(10)の前記周方向出口窓(17)は、前記高温コレクタ(6)内の一次流体の高さよりも高い前記低温コレクタ(7)内の一次流体の前記自由表面(H4)に近接して配置されており、かつ、前記周方向出口窓(17)は、前記熱交換器(10)の管束(13)の中間部分に位置決めされることを特徴とする、原子炉(1)。

【請求項2】

前記熱交換器(10)の前記周方向出口窓(17)は、前記熱交換器(10)の外部シェル(16)に設けられる、請求項1に記載の原子炉(1)。

【請求項 3】

前記周方向出口窓（17）の上方に位置する前記外部シェル（16）の上部（23）と、前記熱交換器（10）の閉鎖板（18）と、前記循環ポンプ（9）を支持するフランジ（24）とが、相対シールを用いて、前記低温コレクタ（7）内の前記一次流体（F）の前記自由表面（H4）に対して上昇した容積（25）を区切る構造体を全体として構成する、請求項2に記載の原子炉（1）。

【請求項 4】

前記熱交換器（10）の前記管束（13）は、前記容積（25）の内部にて部分的に延び、前記原子炉容器（2）の被覆ガス（29）に対して前記容積（25）内に含有された被覆ガス（28）の低圧であって、補助装置（26）によって得られた低圧によって、一次流体（F）が供給される、請求項3に記載の原子炉（1）。

10

【請求項 5】

前記原子炉容器（2）と安全容器（33）との間に隙間（32）を有する、請求項1～4のいずれか1項に記載の原子炉（1）であって、

前記周方向出口窓（17）の下縁部（31）が、前記原子炉容器（2）からの一次流体の漏出及び前記隙間（32）の充填の後に前記自由表面（H4）の高さが低下する場合にも、前記低温コレクタ（7）内の前記一次流体の前記自由表面（H4）の下に維持される、原子炉（1）。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

20

【0001】

本発明は原子炉、特に液体金属冷却型原子炉に関する。

【背景技術】**【0002】**

多くの原子炉では、炉心で発生した熱は、第1のプロセス流体である一次冷却材（例えば液体金属）によって伝達され、炉心を備える一次容器の外側又は内側に配置することができる熱交換器によって、第2のプロセス流体（通常沸騰水）に伝達される。

【0003】

特に液体金属冷却型原子炉の場合には、液体金属熱交換器が容器内に設置される。容器は、その容積内に原子炉構成要素を包含し、一次システムと呼ばれる。このシステムは、ある高さまで液体金属で満たされ、残りは液体金属を原子炉のループから分離する被覆ガスを包含する。このループには貫通孔が一次システムの構成要素のために配置される。

30

【0004】

一次冷却材は自然循環または強制循環によって循環させることができる。

【0005】

多くの原子炉では、一次冷却材は蒸気圧の低い流体であり、これにより一次容器を原子炉の運転中低圧に保つことができる。第2のプロセス流体は一般に、高圧で作動する流体である。これは、熱交換器の1つまたは複数の管の破損およびその結果としての第2のプロセス流体の流出を含む事故の結果を考慮しなければならないことを意味する。一次容器の過剰な加圧を回避するために、被覆ガスと圧力抑制システムとの間の連絡を提供する通気システムを使用することが一般的な実践である。

40

【0006】

現在の技術では、この事故は、(i)（例えば、螺旋管、直管、U字管を有する）熱交換器が非常に長く、(ii)熱交換器の内部では、原子炉ループのガスを巻き込まないために入口窓が上部ではあるが、一次冷却材の自由表面のかなり下にある状態で、一次冷却材が上から下へ循環し、その結果、(iii)出口窓は非常に低い（典型的には数百MWの電力の原子炉内の一次冷却材の自由表面より5～10m下）という事実によって悪化する。管が破損した場合にはこのほか、第2のプロセス流体は結果的に容器内の深部に放出され、通気システムに向かって上昇するにつれて、交換器の内側と外側の両方で一次冷却剤の大きな移動を引き起こす。

50

【 0 0 0 7 】

扁平螺旋管型交換器に一次冷却剤の流出を垂直方向ではなく半径方向に提供する特許文献 1 (イタリア国特許出願公開第 M I 2 0 0 7 A 0 0 1 6 8 5 号明細書) の主要解決策によって改善が得られるが、この解決策でさえも、管束の下部での管の破損の場合には、二次冷却材が典型的には 2 ~ 3 m の深さで一次容器内に放出されることがあるため、問題を解決しない。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 8 】

【 文献 】 イタリア国特許出願公開第 M I 2 0 0 7 A 0 0 1 6 8 5 号明細書

10

【 発明の概要 】

【 0 0 0 9 】

このため、本発明の目的は、熱交換器を提供し、公知の解決法の欠点を全体として克服し、構造上および安全上の利点を有する原子炉内の位置を提供することである。

【 0 0 1 0 】

このため、本発明は、添付請求項 1 に定義されているような熱交換器に関し、添付の従属請求項に定義されているその付随的な特徴およびプラントエンジニアリング構成を備える。

【 0 0 1 1 】

都合の良いことには、熱交換器管の破損事故の間に移動する一次冷却剤の最大量を減少させるために、一次冷却剤流出窓は自由表面にて熱交換器の外部ケーシングの中間領域に位置決めされる。

20

【 0 0 1 2 】

交換管束は、サイフォン構成によって一次冷却材の自由表面に対して部分的に上昇している。

【 0 0 1 3 】

冷却液が熱交換器内の垂直ダクト内で底部から頂部へ搬送され、次いで熱交換器へ半径方向に流れ、その後、本発明によれば、管束の上部または下部を通して流れる一次流体の一部に対してそれぞれ、交換器の外部ケーシングによって垂直方向の下方または上方に迂回して、原子炉の低温コレクタの一次冷却材の自由表面の近傍の出口窓に達する特許文献 1 (イタリア国特許出願公開第 M I 2 0 0 7 A 0 0 1 6 8 5 号明細書) に記載されているように、扁平螺旋管を有する管束を使用することが好ましい。

30

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 4 】

本発明は、添付の図面の図を参照して、以下の非限定的な実施形態の例にてさらに説明される。

【 図 1 】 本発明による原子炉及び熱交換器の概略断面図。

【 図 2 】 本発明による交換器の管束の垂直断面の拡大図。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 5 】

40

図 1 及び図 2 を参照すると、原子炉 1 は、ルーフ 3 で覆われてその内部に炉心 4 を含む原子炉容器 2 と、高温コレクタ 6 とコア 4 冷却用一次流体 F が循環する低温コレクタ 7 とを区切る液圧分離構造体 5 と、を備える。低温コレクタ 7 は、原子炉容器 2 と液圧分離構造体 5 との間の範囲の環状領域 8 によって規定され、このため高温コレクタ 6 の周囲に配置される。

【 0 0 1 6 】

低温コレクタ 7 に浸漬された原子炉容器 2 の内部には、ポンプ 9 がこのほか、一次流体 F を循環させるために収容され、一次流体 F と交差する熱交換器 10、好ましくは蒸気発生器が収容され、(既知であり図示しない) 外部二次回路にて循環する二次冷却流体に炉心 4 にて発生した動力を伝達する。好ましくは、一次流体 F は液体金属、特に重液体金属

50

、例えば鉛または鉛ビスマス共晶合金である。原子炉容器 2 の内部にはこのほか、例えば計装および制御棒のための支持構造、残留動力を除去するための補助熱交換器など、既知であり本発明に関連しないことから簡略化のために記載されていない種々の補助装置が収容される。

【 0 0 1 7 】

原子炉 1 は、熱循環および交換のための複数の熱交換器 1 0 を備える。複数の熱交換器は全体として低温コレクタ 7 内に配置され、分離構造体 5 の周囲に円周方向に隙間を置いて配置される。

【 0 0 1 8 】

好ましくは、各熱交換器 1 0 は内部に循環ポンプ 9 を収容する。この循環ポンプは、作動時に、低温コレクタ 7 内の一次流体 F の高さ H 4 を高温コレクタ 6 内の高さ H 5 よりも高くするようにポンプで加圧する。熱交換器 1 0 のそれぞれは、一次流体 F と交差する孔 1 2 を備えた円筒状内部シェル 1 1 を有し、それぞれ下部板 1 4 および上部板 1 5 によって底部および上部で閉じられた管束 1 3 を半径方向に供給する。

10

【 0 0 1 9 】

本発明によれば、管束 1 3 は、交換器 1 0 の外部シェル 1 6 によって閉じられる。この交換器は、都合の良いことには、管束 1 3 に対して可変の対応する半径方向ギャップ d を規定するために軸方向に可変の厚さを有し、熱交換器 1 0 から一次流体 F を流出させる円周窓 1 7 が管束 1 3 の中心線の近くに設けられる。都合の良いことには、外部シェル 1 6 は交換器 1 0 の閉鎖板 1 8 と一体であり、管束 1 3 の下部板 1 4 に対して垂直に摺動することができる。

20

【 0 0 2 0 】

管束の上部板 1 5 は、半径方向隔壁 1 9 によって管束 1 3 の内部シェル 1 1 と一体であり、内部容積 2 1 を分離する垂直円周方向隔壁 2 0 を備え、管束 1 3 の出口と液圧的に連通する外部容積 2 2 から管束 1 3 への入口と流体連通する。

【 0 0 2 1 】

外部シェルの窓 1 7 より上の部分 2 3 と、熱交換器の閉鎖板 1 8 と、相対的なシールを有してポンプ 9 を支持するフランジ 2 4 とは、全体として上向きのガラスの形状を有する構造を構成し、容積 2 5 の範囲を定める。

【 0 0 2 2 】

ダクト 2 7 によって容積 2 5 に接続されており、当該技術分野で知られているため図示しない補助装置 2 6 が、その中の被覆ガス 2 8 を、熱交換器 1 0 の外側の容器 2 の被覆ガス 2 9 に対して低圧に維持する。

30

【 0 0 2 3 】

被覆ガス 2 8 内の低圧と、ポンプ 9 のヘッドと、一次回路のさまざまな部分の圧力損失の累積的な影響は、一次冷却剤の 5 つの異なる高さを確定する。すなわち、有孔シェル 1 1 内の高さ H 1 から容積 2 1 の高さ H 2、容積 2 2 の高さ H 3、低温コレクタ 7 の高さ H 4 および高温コレクタ 6 の高さ H 5 に徐々に減少する。

【 0 0 2 4 】

円周窓 1 7 は、以下のように配置される。
上縁部 3 0 は、低温コレクタの高さ H 4 が、ポンプ 9 の停止過渡事象を含むさまざまなプラント過渡事象に従って変化する際に、常に一次流体に浸漬される。
下縁部 3 1 は、容器 2 からの一次流体の任意の損失および容器 2 と安全容器 3 3 との間隙 3 2 の充填による容器 2 内の一次流体の高さの低下の後にも、少なくとも 5 0 mm の一次流体に常に浸漬される。

40

【 0 0 2 5 】

ルーフ 3 は、容器 2 内の被覆ガス 2 9 内の圧力を制御する制御システム 3 5 に接続されたダクト 3 4 を備える。

【 0 0 2 6 】

解決策の利点は図面から明らかである。

50

【 0 0 2 7 】

管束 1 3 の中間位置にある交換器から出口窓 1 7 を位置決めすることにより、交換器 1 0 の内側の二次流体の予定の放出点と出口窓との間の最大距離（典型的には 1 メートル程度）を減少させ、交換器管が破損した場合に、一次流体 F が被覆ガス 2 9 に向かってあふれ出る際に、圧力下で二次冷却剤によって置換される交換器の一次流体 F の量を最小限に抑える。

【 0 0 2 8 】

低温コレクタ 7 内の自由表面 H 4 の近傍にて交換器の高さから出口窓 1 7 を位置決めすることにより、交換器管が破損した場合に、一次流体 F が被覆ガス 2 9 に向かってオーバーフローする際に、圧力下で二次冷却剤によって置換される、交換器の外側にある一次流体 F の質量を最小にする。典型的には、圧力下の二次冷却材は、公知の解決策と同じように、一次冷却材のヘッドの下、数メートルではなく最大数十 c m の深さに放出することができる。

10

【 0 0 2 9 】

特に熱交換器が蒸気発生器である場合、蒸気発生器の 1 つまたは複数の管の破損によって放出された水 水蒸気混合物は、一次冷却材 F と接触して沸騰を完了し、一次冷却材から自由表面 H 4 の高さで分離し、次いで被覆ガス 2 9 と混合する。この被覆ガスは、その後、相当量の蒸気が放出された場合に圧力抑制システムとして動作する補助システム 3 5 によって圧力が制御される。

【 0 0 3 0 】

低温コレクタ 7 の自由表面 H 4 からの熱交換器 1 0 の管束の部分的な上昇は、コアに対する高さの相対的な差を増大させ、その結果自然循環での性能が向上する。

20

【 0 0 3 1 】

容器 2 から一次流体 F が流出する場合、窓 1 7 の上縁部 3 0 が露出することにより、交換器 1 0 の管束の高さ H 4 より上の部分が空になる。これは、隙間 3 2 を埋めることに寄与し、窓 1 7 の寸法を小さくしても、窓 1 7 の下縁部 3 1 が露出し、交換器 1 0 を通る循環が停止するのを回避する。

【 0 0 3 2 】

添付の特許請求の範囲から逸脱しない修正および変形は、前述し図示した交換器および交換器を備えた原子炉に対して実施することができることを理解されたい。

30

40

50

【図面】

【図 1】

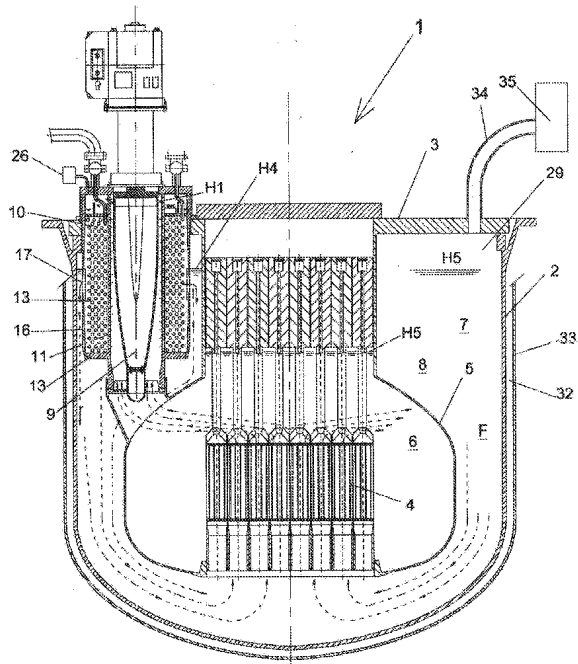


Figure 1

【図 2】

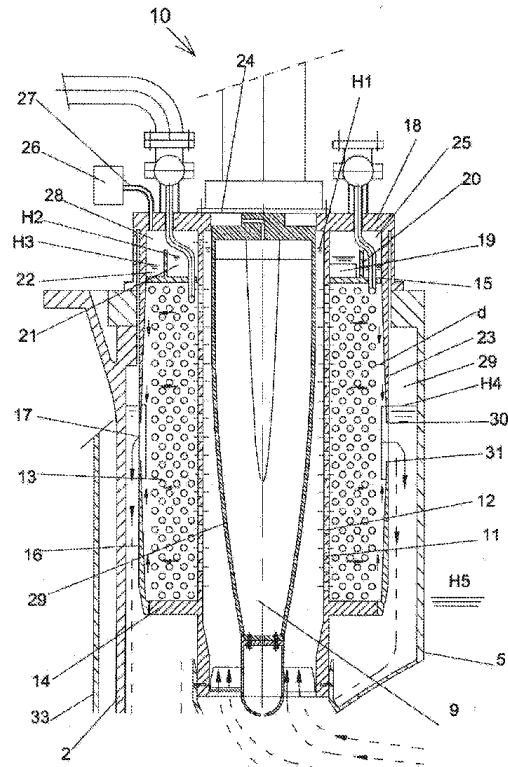


Figure 2

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(74)代理人 100211177

弁理士 赤木 啓二

(72)発明者 ルチャーノ チノッティ

イタリア国, 16036 レッコ, ビア ビットリオ ベネト, 49

合議体

審判長 山村 浩

審判官 松川 直樹

審判官 野村 伸雄

(56)参考文献 国際公開第2009/024854(WO, A2)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G21C13/00

G21D1/00

G21D1/04

G21D5/08

G21C1/02

G21C1/32

G21C1/32

G21C15/02

F22B1/06