

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2012 年 1 月 19 日(19.01.2012)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/008369 A1

- (51) 国際特許分類:
G21C 1/02 (2006.01) G21C 15/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/065652
- (22) 国際出願日: 2011 年 7 月 8 日(08.07.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-159682 2010 年 7 月 14 日(14.07.2010) JP
特願 2011-081254 2011 年 3 月 31 日(31.03.2011) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱重工業株式会社(MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 國嶋 茂 (KUNISHIMA, Shigeru) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 清水 亮 (SHIMIZU, Ryo) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 藤田 考晴, 外(FUJITA, Takaharu et al.); 〒2208137 神奈川県横浜市西区みなとみらい 2

ー 2 - 1 横浜ランドマークタワー 3 7 F
Kanagawa (JP).

- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

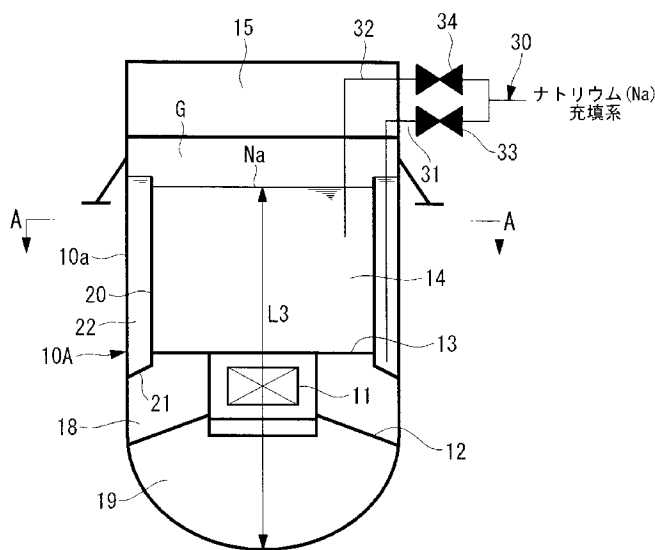
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: NUCLEAR REACTOR CONTAINMENT STRUCTURE AND NUCLEAR REACTOR OPERATION METHOD

(54) 発明の名称: 原子炉容器構造及び原子炉の運転方法

[図1A]



30 Sodium (Na) filling system

(57) Abstract: Provided is a nuclear reactor containment structure that enables thermal stress produced on the surface of a reactor vessel when a nuclear reactor starts up etc. to be diminished. The nuclear reactor containment structure has an upper plenum (14) with a liquid surface structure, which is filled with a liquid sodium (Na) coolant, is disposed inside the reactor vessel (10A), which contains a reactor core (11), and said upper plenum (14) with a liquid surface structure has an inert gas-filled space (G) formed above the surface of the liquid. The nuclear reactor containment structure is provided with: a coolant holding tank (22) formed between a reactor wall (10a) and an inner cylinder (20) by installing the bottomed inner cylinder (20) on the inside of the reactor wall (10a) of the upper plenum (14) to a position higher than the coolant liquid surface (L3) when the nuclear reactor is in steady operation; and a sodium filling system (30) that supplies liquid sodium (Na) to the coolant holding tank (22), and recovers the liquid sodium (Na) from the inside of the upper plenum (14).

(57) 要約:

[続葉有]



原子炉の起動時等に発生する原子炉容器壁面の熱応力を緩和できる原子炉容器構造を提供する。炉心（１１）を収納した原子炉容器（１０Ａ）内に、冷却材の液体ナトリウム（Ｎａ）を充填した液面上部に不活性ガス充填空間（Ｇ）が形成されている有液面構造の上部プレナム（１４）を設けた原子炉容器構造において、上部プレナム（１４）の炉壁（１０ａ）の内側に、原子炉定常運転時の冷却材液面（Ｌ３）より高い位置まで有底の内筒（２０）を設置することにより、炉壁（１０ａ）と内筒（２０）との間に形成された冷却材滞留槽（２２）と、液体ナトリウム（Ｎａ）冷却材滞留槽（２２）に供給するとともに、上部プレナム（１４）内から液体ナトリウム（Ｎａ）を回収するナトリウム充填系（３０）と、を備えている。

明 細 書

発明の名称：原子炉容器構造及び原子炉の運転方法

技術分野

[0001] 本発明は、たとえば高速増殖炉（Fast Breeder Reactor：FBR）等の高速炉に適用される原子炉容器構造及び原子炉の運転方法に係り、特に、ホットベッセルに好適な原子炉容器構造及び原子炉の運転方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、高速増殖炉等の高速炉では、たとえば図16や図17に示されるように、ホットベッセルと呼ばれる原子炉容器構造がある。この原子炉容器10では、冷却材としてナトリウムのような液体金属が用いられており、冷却系に接続されたコールドレグ配管17Cから原子炉容器10の下部プレナム19に流入した液体ナトリウムNaは、図中に矢印Fで示すように、炉心11を下から上に通過する過程で加熱され、定格運転時には高温（約550℃）で使用される。なお、加熱された液体ナトリウムNaは、上部プレナム14からホットレグ配管17Hを通して冷却系に戻される。

[0003] 図示の原子炉容器10、110は、冷却材バウンダリを構成する重要機器であり、冷却材の一例として液体ナトリウムNaが使用されている。このような原子炉容器10、110内は、化学的に活発な冷却材であるナトリウムNaが空気と触れることを防ぐため、液体ナトリウムNaの上部に、たとえばアルゴン（Ar）等の不活性ガスを充填した不活性ガス充填空間Gを設けた有液面構造となっている。なお、図中の符号Lは、液体ナトリウムNaの液位を示している。

[0004] また、上述した原子炉容器10、110内は、隔壁13によって上下に仕切られ、上部プレナム14及び中間プレナム18を形成している。隔壁13は、炉心11から加熱を受けて上部プレナム14に流入した高温の液体ナトリウムNaが、中間プレナム18へとバイパスすることを防止し、炉心11

を支持するスカート部 12 等の据付部を低温に保つ。

上述した不活性ガスは、上部プレナム 14 内に充填されている。すなわち、上部プレナム 14 は、原子炉容器 10、110 内における有液面空間となる。

なお、ルーフデッキ 15 は、原子炉容器 10、110 の蓋であり、不活性ガスバウンダリを形成するとともに、据付部を低温に保つために冷却されている。

図 16 における符号 30 は、上部プレナム 14 内に液体ナトリウム Na を供給して充填するナトリウム充填系である。また、図 17 における符号 130 は、不活性ガス充填空間 G にアルゴン等の不活性ガスを供給する不活性ガス供給（充填）系である。

[0005] このため、原子炉容器 10、110 の炉壁 10a においては、図 15 の「液位上昇の場合」に示すように、液体ナトリウム Na が存在する冷却材接液部と、不活性ガス充填空間 G との間において、軸方向に大きな温度勾配を生じ、冷却材の液面近傍部に高い熱応力が発生する。この熱応力は、以下に説明する理由により、特に原子炉の起動時に大きくなる。

[0006] 原子炉の停止時においては、冷却材として使用する液体ナトリウム Na の凍結を防ぐ目的から、液体ナトリウム Na が約 200℃ に保温されている。

これに対し、原子炉の起動時には、炉心 11 からの加熱を受けて液体ナトリウム Na の温度が上昇するので、体積膨張に伴って液体ナトリウム Na の液位も L2 から L3 に上昇する。なお、この場合の液位 L3 は、原子炉定常運転時の冷却材液面となる。

[0007] しかし、原子炉容器の材料であるオーステナイト系ステンレス鋼は、その熱伝導性が低いため、液体ナトリウム Na の液面より上の領域、すなわち液体ナトリウム Na と接液していない領域では温度の追従が遅くなる。従って、図 15 の「液位上昇の場合」に実線で示されるように、原子炉容器 10、110 の炉壁 10a には、液面近傍部（液位 L3 の液面よりやや上の領域）に大きな温度勾配が生じて高い熱応力を発生する。

[0008] 原子炉容器の壁面（上述した炉壁 10a）に発生する熱応力を緩和する従来技術としては、たとえば特許文献 1 に開示されているように、原子炉容器の内側に内筒を設置し、容器と内筒の間に炉心入口側の冷却材を流し、冷却材の通過流量を調節して原子炉容器壁の熱応力を緩和するもの（コールドベッセル）がある。

また、特許文献 2 には、液面熱ラチェット現象の発生を防止するため、原子炉起動時において、原子炉容器内に設置した電磁ポンプを作動させ、冷却材となる液体金属の液位を変化させる高速炉が開示されている。特許文献 3 ～ 5 には、原子炉容器の冷却材液面近傍に、冷却材（液体ナトリウム）を貯留する貯留バケットを設けて熱応力を緩和する方式が開示されており、たとえば貯留バケット内に複数の熱抵抗体を収容する構造や、貯留バケットの断面積が上部及び下部で異なる構造もある。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献 1：特開平 10－160883 号公報

特許文献 2：特開平 8－15487 号公報

特許文献 3：特開昭 59－163588 号公報

特許文献 4：特開昭 60－247191 号公報

特許文献 5：特開昭 61－47581 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 上述したように、ホットベッセルの原子炉容器構造においては、原子炉の起動時に液体ナトリウム Na の温度が上昇し、これに伴う熱膨張によって液体ナトリウム Na の液位 L も上昇する。このような原子炉容器 10, 110 の炉壁 10a では、図 15 に示す「液位上昇の場合」、液体ナトリウム Na の液面近傍において軸方向に大きな温度勾配が生じるので、液面近傍部の熱応力は大きなものとなる。

[0011] このため、原子炉の供用期間中には、起動・停止を繰り返すことにより、原子炉容器 10, 110 に対して上述した熱応力が繰り返し発生することになる。従って、この熱応力が大きい場合には、起動のたびに原子炉容器 10, 110 の径が縮む変形（液面ラチェット）や、クリープ疲労による破損の発生が懸念される。

さらに、原子炉容器 10, 110 の健全性を確保するためには、起動にかける日数を長くし、炉壁 10a が緩やかな温度上昇をするように、ゆっくりと起動する必要がある。しかし、原子炉を発電等の商用運転に使用するような場合には、起動に要する時間を短縮して定格運転時間を可能な限り延長することが望ましい。

このような熱応力に起因する懸念は、起動時のみならず、通常停止時、緊急停止時にも生じるものである。

[0012] このような背景から、ホットベッセルの原子炉容器構造においては、原子炉容器の信頼性や運用性をより一層向上させるため、原子炉容器の壁面に発生する熱応力を緩和する方策が必要となる。この方策は、追加設備を最小限に抑え、高い耐熱成立性を有することが望ましい。

本発明は、上記の事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、原子炉の起動時等に発生する原子炉容器壁面の熱応力を緩和できる原子炉容器構造及び原子炉の運転方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0013] 本発明は、上記の課題を解決するため、下記的手段を採用した。

本発明の第一の態様は、炉心を収納した原子炉容器内に、液体金属の冷却材を充填した液面上部に不活性ガス充填空間が形成されている有液面空間を設けた原子炉容器構造において、前記有液面空間の容器壁面内側に原子炉定常運転時の冷却材液面より高い位置まで有底内筒を設置することにより前記容器壁面と前記内筒との間に形成された冷却材滞留槽と、前記冷却材を前記冷却材滞留槽に供給するとともに、前記有液面空間内から前記冷却材を回収する冷却材供給・回収系統と、を備えた原子炉容器構造である。

[0014] 上記本発明の第一の態様に係る原子炉容器構造によれば、有液面空間の容器壁面内側に原子炉定常運転時の冷却材液面より高い位置まで有底内筒を設置することにより容器壁面と内筒との間に形成された冷却材滞留槽と、冷却材を冷却材滞留槽に供給するとともに、有液面空間内から冷却材を回収する冷却材供給・回収系統と、を備えているので、原子炉の起動前に冷却材滞留槽の上端まで冷却材を充填しておくこと、起動時の温度上昇により膨張した冷却材が冷却材滞留槽から液面の低い有液面空間内に溢流する。従って、原子炉の起動時には、原子炉容器の壁面と接する冷却材の液面高さを冷却材滞留槽の上端と一致させて、一定に保つことができる。

また、たとえば原子炉の起動時には、冷却材滞留槽に充填された冷却材と同量が有液面空間内から回収できるので、冷却材バウンダリ内の冷却材量は所定の充填量に維持できる。

[0015] 本発明の第二の態様は、上述の原子炉容器構造を備えている原子炉の運転方法であって、前記冷却材滞留槽の上端まで前記冷却材を供給するとともに、前記有液面空間内に充填されている前記冷却材から前記冷却材滞留槽への供給量と同量を回収する準備工程を備えた原子炉の運転方法である。

[0016] 上記本発明の第二の態様に係る原子炉の運転方法によれば、冷却材滞留槽の上端まで冷却材を供給するとともに、有液面空間内に充填されている冷却材から冷却材滞留槽への供給量と同量を回収する準備工程を備えているので、原子炉起動時の温度上昇により膨張した冷却材は冷却材滞留槽から液面の低い有液面空間内に溢流する。このため、原子炉の起動時には、原子炉容器の壁面と接する冷却材の液面高さを冷却材滞留槽の上端と一致させ、一定に保つことができる。

また、たとえば原子炉の起動時には、冷却材滞留槽に充填された冷却材と同量が有液面空間内から回収できるので、冷却材バウンダリ内の冷却材量は所定の充填量に維持できる。

[0017] 本発明の第三の態様は、炉心を収納した原子炉容器内に、液体金属の冷却材を充填した液面上部に不活性ガス充填空間が形成されている有液面空間を

設け、該有液面空間の容器壁面内側に、原子炉定常運転時の冷却材液面より高い位置まで有底内筒を設置して前記容器壁面と前記有底内筒との間に形成された冷却材滞留槽を備えている原子炉容器構造であって、前記有底内筒から離間した内側に下端部を充填完了時の液面内まで延在させた仕切部材を設けて前記有液面空間の内部を内側空間及び外側空間に分割し、前記液体金属が、前記内側空間及び前記外側空間の不活性ガス充填圧力を相対的に変化させて生じる圧力差を利用して前記冷却材滞留槽に充填されることを特徴とする原子炉容器構造である。

[0018] 上記本発明の第三の態様に係る原子炉容器構造によれば、有底内筒から離間した内側に下端部を充填完了時の液面内まで延在させた仕切部材を設けることにより、有液面空間の内部を内側空間及び外側空間に分割し、液体金属が、内側空間及び外側空間の不活性ガス充填圧力を相対的に変化させて生じる圧力差を利用して冷却材滞留槽に充填されるので、原子炉容器内の冷却材滞留槽に液体金属を充填するため、液体金属が空気と接触しないよう十分な配慮が必要となる専用の液体金属供給配管を新たに増設する必要はない。

[0019] そして、内部空間の不活性ガス充填圧力を外部空間より高い圧力に設定し、この圧力差により内部空間の液面を押し下げるとともに外部空間の液面を上昇させて冷却材滞留槽へ液体金属を充填するので、冷却材滞留槽の上端部まで確実に液体金属を充填することができ、原子炉の起動時においては、温度上昇により膨張した液体ナトリウムNaが冷却材滞留槽から液面の低い上部プレナム内に溢流することによって、原子炉容器の壁面と接する冷却材の液面高さが冷却材滞留槽の上端と一致する一定位置に保たれる。

[0020] 上記本発明の第三の態様に係る原子炉容器構造において、前記圧力差は、不活性ガス供給系に接続されて前記内側空間に不活性ガスを供給するとともに第1開閉弁を備えた第1ガス配管と、前記第1開閉弁より上流側で前記第1ガス配管から分岐して前記外側空間に不活性ガスを供給するとともに第2開閉弁を備えた第2ガス配管とを設け、前記第1開閉弁及び前記第2開閉弁の開閉操作により生じさせる構成とされることが好ましい。この構成によれ

ば、仕切部材の追設及び不活性ガス供給系の変更を行う比較的簡単な構造により、起動準備等において原子炉容器内の冷却材滞留槽に液体金属を容易に充填することができる。

[0021] 上記本発明の第三の態様に係る原子炉容器構造において、前記内側空間内及び外側空間内の液位を検出する液位検出部を備えた構成とされることが好ましい。この構成によれば、内側空間内及び外側空間内の液面管理が可能になるので、冷却材滞留槽に液体金属を確実に充填することができる。

[0022] 本発明の第四の態様は、上記第三の態様に係る原子炉容器構造を備えている原子炉の運転方法であって、前記内部空間の不活性ガス充填圧力を前記外部空間より高い圧力に設定し、前記内部空間の液面を押し下げるとともに前記外部空間の液面を上昇させて前記冷却材滞留槽へ前記液体金属を充填する起動準備工程を備えた原子炉の運転方法である。

[0023] 上記本発明の第四の態様に係る原子炉の運転方法によれば、内部空間の不活性ガス充填圧力を外部空間より高い圧力に設定し、内部空間の液面を押し下げるとともに外部空間の液面を上昇させて冷却材滞留槽へ液体金属を充填する起動準備工程を備えているので、両空間に生じる圧力差を利用して冷却材滞留槽の上端部まで液体金属を確実に充填した状態での運転開始が可能になる。このため、原子炉の起動時においては、温度上昇により膨張した液体ナトリウムNaが冷却材滞留槽から液面の低い上部プレナム内に溢流することによって、原子炉容器の壁面と接する冷却材の液面高さが冷却材滞留槽の上端と一致する一定位置に保たれる。

発明の効果

[0024] 本発明によれば、原子炉の起動時において、原子炉容器の壁面と接する冷却材の液面高さが冷却材滞留槽の上端と一致する一定位置に保たれる。この結果、原子炉容器の壁面においては、軸方向の温度勾配が緩和されて発生する熱応力も小さくなるので、原子炉容器の信頼性や運用性がより一層向上するという顕著な効果を得られる。

本発明は、内筒及び冷却系の改造により実施できるため、追加設備を最小

限に抑え、しかも、高い耐熱成立性を有している。

[0025] また、本発明によれば、原子炉の起動時において、温度上昇により膨張した液体ナトリウムNaが冷却材滞留槽から液面の低い上部プレナム内に溢流することによって、原子炉容器の壁面と接する冷却材の液面高さが冷却材滞留槽の上端と一致する一定位置に保たれる。この結果、原子炉容器の壁面においては、軸方向の温度勾配が緩和されて発生する熱応力も小さくなるので、原子炉容器の信頼性や運用性がより一層向上するという顕著な効果を得られる。

本発明は、有底内筒と仕切部材を追加する容器構造の変更と、不活性ガス供給系の簡単な改造により実施できるため、追加設備を最小限に抑え、しかも、高い耐熱成立性を有している。特に、空気との接触防止対策が必要となるナトリウムのような液体金属（冷却材）配管を増設する必要がないため、プラントの信頼性や耐久性の向上に大きな効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0026] [図1A]本発明に係る原子炉容器構造の一実施形態を示す図で、原子炉容器構造の概要（定常運転時の液位）を示す縦断面図である。

[図1B]図1AにおけるA-A断面図である。

[図2]図1Aの原子炉容器構造において、原子炉起動前に冷却材が保温されている通常停止時の冷却材液位を示す縦断面図である。

[図3]図1Aの原子炉容器構造において、冷却材の冷却材滞留槽への供給時の液位を示す縦断面図である。

[図4]図1Aの原子炉容器構造において、充填量と同量の冷却材を回収する冷却材回収時の液位を示す縦断面図である。

[図5]図1Aの原子炉容器構造において、冷却材の供給及び回収が完了し、起動準備完了時の状態にある場合の液位を示す縦断面図である。

[図6]図1Aの原子炉容器構造において、温度上昇を生じた原子炉起動時の液位を示す縦断面図である。

[図7]図1Aの原子炉容器構造において、冷却材の液位が安定した原子炉定常

運転時の液位を示す縦断面図である。

[図8]図1Aの原子炉容器構造において、原子炉を停止した場合の液位を示す縦断面図である。

[図9A]本発明に係る別の原子炉容器構造の一実施形態を示す図で、原子炉容器構造の概要（定常運転時の液位）を示す縦断面図である。

[図9B]図9AにおけるA-A断面図である。

[図10]図9Aの原子炉容器構造において、原子炉起動前に冷却材が保温されている通常停止時の冷却材液位を示す縦断面図である。

[図11]図9Aの原子炉容器構造において、冷却材滞留槽に対する冷却材の充填開始時の液位を示す縦断面図である。

[図12]図9Aの原子炉容器構造において、冷却材滞留槽に対する冷却材の充填完了時の液位を示す縦断面図である。

[図13]図9Aの原子炉容器構造において、冷却材滞留槽に対する冷却材の充填が完了し、原子炉が起動準備完了時の状態にある場合の液位を示す縦断面図である。

[図14]冷却材滞留槽に対する冷却剤充填において、横軸の原子炉運転状態に対応する不活性ガス圧力を縦軸に示した不活性ガス圧力運用の説明図である。

[図15]原子炉容器内の冷却材液面が「液位上昇の場合」及び「液位一定の場合」について、原子炉容器壁面の温度勾配を示す図である。

[図16]従来の原子炉容器構造の例を示す縦断面図である。

[図17]従来の原子炉容器構造の他の例を示す縦断面図である。

発明を実施するための形態

[0027] 〔第一の実施形態〕

以下、本発明に係る原子炉容器構造及び原子炉の運転方法の第一の実施形態を図面に基づいて説明する。

図1A及び図1Bに示す実施形態の原子炉容器10Aは、高速増殖炉等の高速炉に適用されるホットベッセルと呼ばれるものであり、炉壁10aの内

部空間に炉心 11 を収納している。この炉心 11 は、原子炉容器 10 A 内でスカート部 12 等の据付部により支持されている。

[0028] 原子炉容器 10 A の内部は、炉心 11 の上端部側に隔壁 13 を設けて上部プレナム 14 及び中間プレナム 18 を形成している。なお、中間プレナム 18 の下方には、スカート部 12 によって仕切られた下部プレナム 19 が形成されている。

上部プレナム 14 は、液体金属である液体ナトリウム Na 等の冷却材が充填されるとともに、液体ナトリウム Na の液面上部にアルゴン等の不活性ガス充填空間 G が形成される空間であり、原子炉容器 10 A 内に設けた有液面構造の空間領域となる。なお、液体ナトリウム Na は、上述した従来構造と同様に、図示を省略したコールドレグ配管から原子炉容器 10 の下部プレナム 19 に流入し、炉心 11 を下から上に通過する過程で加熱された後に、上部プレナム 14 からホットレグ配管を通して冷却系に戻される。

[0029] 原子炉容器 10 A の内部には、炉壁 10 a の内側に設置された内筒 20 を備えている。この内筒 20 は、下端部側を炉壁 10 a に結合して形成された内筒底面 21 を有している。この結果、原子炉容器 10 A の内側には、炉壁 10 a より小径で内筒底面 21 を有する有底内筒の内筒 20 が設置されているので、炉壁 10 a の内側と内筒 20 の外壁面との間には、冷却材である液体ナトリウム Na を滞留させるための空間である冷却材滞留槽 22 が形成されている。

この内筒 20 は、上述した有液面空間の上部プレナム 14 内において、原子炉定常運転時の冷却材液位 L3 よりも高い位置まで設けられている。

なお、内筒 20 の下端部及び内筒底面 21 は、原子炉トリップ時の熱過渡が厳しい上部プレナム 14 に隣接することは望ましくないため、隔壁 13 よりやや下方の中間プレナム 18 側に設けられている。

[0030] また、原子炉容器 10 A には、冷却材の液体ナトリウム Na を冷却材滞留槽 22 に供給するとともに、上部プレナム 14 内から液体ナトリウム Na を回収する冷却材供給・回収系統として、液体ナトリウム Na の貯蔵タンク等

の供給源に接続されたナトリウム充填系 30 が設けられている。

このナトリウム充填系 30 は、冷却材滞留槽 22 に液体ナトリウム Na を供給して充填する充填流路 31 と、上部プレナム 14 内から液体ナトリウム Na を吸入して回収する回収流路 32 とに分岐している。なお、分岐後の充填流路 31 及び回収流路 32 には、それぞれ充填時及び回収時に開操作する仕切弁 33, 34 が設置されている。また、充填流路 31 の下端は内筒底面 21 近傍まで達し、必要に応じて冷却材滞留槽 22 の液体ナトリウム Na を回収できる。

[0031] 充填流路 31 は、冷却材滞留槽 22 に液体ナトリウム Na を供給して充填する流路であり、原子炉の起動時等において、冷却材滞留槽 22 の液面を調整するために使用される。このとき、仕切弁 33 のみが開とされ、液体ナトリウム Na は冷却材滞留槽 22 の上端まで充填される。

回収流路 32 は、原子炉の起動時等において、上部プレナム 14 内に充填されている液体ナトリウム Na から、冷却材滞留槽 22 へ供給した量と同量の液体ナトリウム Na を回収するために使用される。このとき、仕切弁 34 のみが開とされ、上部プレナム 14 内の液体ナトリウム Na が充填流路 31 から供給した量と同量吸引され、液体ナトリウム Na の貯蔵タンク等に回収される。

[0032] このような原子炉容器構造によれば、原子炉の起動前に冷却材滞留槽 22 の上端まで液体ナトリウム Na を充填しておく、起動時の温度上昇により膨張した液体ナトリウム Na が冷却材滞留槽 22 から液面の低い上部プレナム 14 内に溢流する。従って、原子炉の起動時には、原子炉容器 10A の壁面と接する液体ナトリウム Na の液面高さが冷却材滞留槽 22 の上端と一致し、定常運転まで変動することなく一定に保たれる。

[0033] 以下、原子炉の起動から停止まで、ナトリウム充填系 30 の操作による冷却材滞留槽 22 の液位（液面）調整について説明する。

図 2 は、原子炉起動前の冷却材液位を示している。この場合、液体ナトリウム Na は、冷却材バウンダリには所定量充填されており、凍結防止のため

に200℃程度まで加熱されている。このとき、上部プレナム14内の液位（原子炉容器10Aの底面から液面までの高さ）はL1であり、冷却材滞留槽22の液面は上部プレナム14の液位よりやや高くなっている。

[0034] 図3は、原子炉起動前において、冷却材滞留槽22に液体ナトリウムNaを供給する液体ナトリウム供給時の液位を示している。この場合、図2に示した原子炉起動前の冷却材液位から、仕切弁33を開として矢印方向に液体ナトリウムNaを流し、冷却材滞留槽22に対する液体ナトリウムNaの供給を開始する。この結果、冷却材滞留槽22内の液体ナトリウムNaは、充填量分だけ液面が上昇する。この場合の液体ナトリウム充填量は、冷却材滞留槽22内の液面が内筒20の上端と一致するまでとする。

[0035] 図4は、原子炉起動前において、上部プレナム14内から充填量と同量の液体ナトリウムNaを回収する冷却材回収時の液位が示されている。この場合、図2及び図3に示した原子炉起動前の冷却材液位状態から、仕切弁34を開として矢印方向に液体ナトリウムNaを流し、冷却材滞留槽22内の液面が内筒20の上端と一致するまで供給した液体ナトリウム充填量と同量を上部プレナム14から吸引して回収する。

この結果、上部プレナム14内の液位はL1からL1-を経て、図5に示す液位L2に低下する。この操作により、冷却材バウンダリに充填されている液体ナトリウムNaの充填量は、当初の所定量から変動することはない。

[0036] 図5は、冷却材供給・回収が完了した原子炉起動前の液位を示している。この状態では、仕切弁33、34が閉じられ、液体ナトリウムNaの充填及び回収はなく、原子炉を起動する準備が完了した状態となる。

図6は、図5の液位状態から原子炉の起動操作を開始した場合（原子炉起動時）の液位を示している。この場合、原子炉の起動により液体ナトリウムNaが温度上昇するので、冷却材バウンダリの液体ナトリウムNaが温度上昇に伴って膨張する。この結果、上部プレナム14内の液位L2からL2+に上昇するとともに、冷却材滞留槽22の液体ナトリウムNaが溢流して上部プレナム14内に流下する。

[0037] 図7は、原子炉が定常運転されている場合（原子炉定常運転時）の液位を示している。この場合、上部プレナム14内の液体ナトリウムNaは液位L3となり、冷却材滞留槽22の液体ナトリウムNaは液面が内筒20の上端と一致した状態にある。

図8は、原子炉を停止した場合の液位が示されている。この場合、液体ナトリウムNaは温度降下に伴い収縮するので、上部プレナム14内の液位は定常運転時の液位L3から降下し液位L3-を経て、最終的には凍結防止の加熱温度まで低下し、図2に示す原子炉起動前の冷却材液位L1となる。

[0038] このように、上述した実施形態の原子炉容器10Aでは、原子炉を起動する際の運転方法が、冷却材滞留槽22の上端まで冷却材の液体ナトリウムNaを供給するとともに、上部プレナム14内に充填されている液体ナトリウムNaから冷却材滞留槽22への供給量と同量を回収する準備工程を実施できる。すなわち、上述したナトリウム充填系30の操作による冷却材滞留槽22の液位（液面）調整において、図2から図4に示した液位調整を行う準備工程が実施可能となる。

[0039] このような原子炉の運転方法において、準備工程は、冷却材滞留槽22の上端まで液体ナトリウムNaを供給し、かつ、上部プレナム14内に充填されている液体ナトリウムNaから、冷却材滞留槽22に供給した液体ナトリウム量と同量を回収するので、原子炉起動時の温度上昇により膨張した液体ナトリウムNaは、冷却材滞留槽22から液面の低い上部プレナム14内に溢流する。

この結果、原子炉起動時において、原子炉容器10Aの炉壁10aと接する液体ナトリウムNaの液面高さは、原子炉起動時の温度変化により膨張しても、冷却材滞留槽22の上端と常に一致して一定に保たれる。

[0040] このようにして、原子炉起動時に炉壁10aと接する液体ナトリウムNaの液位を一定に保つことができると、図15に示す「液位一定の場合」のように、液体ナトリウムNaの液面近傍において軸方向に生じていた大きな温度勾配を低減でき、この結果、液面近傍部の熱応力も小さくなる。

このため、原子炉の供用期間中に起動・停止を繰り返しても、原子炉容器 10A に対して繰り返し発生する熱応力を低減できるので、起動のたびに原子炉容器 10A の径が縮む変形（液面ラチェット）やクリープ疲労による破損の問題を低減または解消することができる。

また、液体ナトリウム Na の液位を一定に保つ（あるいは小さくする）ことができると、上述した起動時のみならず、通常停止時や緊急停止時においても、液面近傍部の熱応力を小さくするなど、熱応力に起因する懸念を軽減することができる。

[0041] また、上述した実施形態は、図 16 に示した従来例に対する追加設備として、内筒底面 21 を有する内筒 20 の追設と、冷却材滞留槽 22 へ冷却材の液体ナトリウム Na を供給するナトリウム充填系 30 の改造のみである。すなわち、原子炉容器 10A 内は単純な構造の円筒 20 を追加するだけでよく、しかも、ナトリウム充填系 30 の改造も大がかりなものではないから、比較的低コストで容易に実施することが可能である。

なお、本発明は上述した実施形態に限定されることはなく、たとえば冷却材や不活性ガスの種類、冷却材充填系の構成や充填・回収手順など、その要旨を逸脱しない範囲内において適宜変更することができる。

[0042] [第二の実施形態]

以下、本発明に係る原子炉容器構造及び原子炉の運転方法の第二の実施形態を図面に基づいて説明する。なお、上述した実施形態と同様の部分には同じ符号を付している。

図 9A 及び図 9B に示す実施形態の原子炉容器 110A は、高速増殖炉等の高速炉に適用されるホットベッセルと呼ばれるものであり、炉壁 10a の内部空間に炉心 11 を収納している。この炉心 11 は、原子炉容器 10A 内でスカート部 12 等の据付部により支持されている。

[0043] 原子炉容器 110A の内部は、炉心 11 の上端部側に隔壁 13 を設けて上部プレナム 14 及び中間プレナム 18 を形成している。なお、中間プレナム 18 の下方には、スカート部 12 によって仕切られた下部プレナム 19 が形

成されている。

上部プレナム 14 は、液体金属である液体ナトリウム Na 等の冷却材が充填されるとともに、液体ナトリウム Na の液面上部にアルゴン等の不活性ガス充填空間 G が形成される空間であり、原子炉容器 110A 内に設けた有液面構造の空間領域となる。なお、液体ナトリウム Na は、上述した従来構造と同様に、図示を省略したコールドレグ配管から原子炉容器 110A の下部プレナム 19 に流入し、炉心 11 を下から上に通過する過程で加熱された後に、上部プレナム 14 からホットレグ配管を通して冷却系に戻される。

[0044] 原子炉容器 110A の内部には、炉壁 10a の内側に取り付けられた内筒 20 を備えている。この内筒 20 は、下端部側を炉壁 10a に結合して形成された内筒底面 21 を有している。このように、原子炉容器 110A の内側には、炉壁 10a より小径で内筒底面 21 を有する有底内筒の内筒 20 が設置されているので、炉壁 10a の内側と内筒 20 の外壁面との間には、冷却材である液体ナトリウム Na を滞留させるための空間である冷却材滞留槽 22 が形成されている。

[0045] この内筒 20 は、上述した有液面空間の上部プレナム 14 内において、原子炉定常運転時の冷却材液位 L3 よりも高い位置まで設けられている。

なお、内筒 20 の下端部及び内筒底面 21 は、原子炉トリップ時の熱過渡が厳しい上部プレナム 14 に隣接することは望ましくないため、隔壁 13 よりやや下方の中間プレナム 18 側に設けられている。

[0046] そして、図示の原子炉容器 110A は、冷却材バウンダリを構成する重要機器であり、冷却材の一例として液体ナトリウム Na が使用されている。この場合、液体ナトリウム Na は、凍結防止のため 200℃ 程度以下の低温とならないようにする必要があり、従って、運転状況に応じて加熱及び保温がなされている。また、原子炉容器 110A の内部は、化学的に活性な冷却材であるナトリウム Na が空気と触れることを防ぐため、液体ナトリウム Na の上部に、たとえばアルゴン (Ar) 等の不活性ガスを充填した不活性ガス充填空間 G を設けた有液面構造となっている。

このような原子炉容器 110A の内部に対し、本実施形態では、内筒 20 から液体ナトリウム Na のスムーズな流通を可能にする程度の隙間を形成するように離間した内側に、内筒 20 よりも小径の円筒形状を有する仕切部材 25 が設けられている。この仕切部材 25 は、上端部側がルーフデッキ 15 の下面に固定支持され、下端部が後述する充填完了時の冷却材液位 L5（図 12 参照）より下方まで延在するように設けられている。

[0047] すなわち、仕切部材 25 の長さは、後述する一連の原子炉運転状態（定常運転時、通常停止時、充填開始時、充填完了時及び起動準備完了時）において、冷却材液位変化で最も液面が低下する充填完了時に、下端部が必ず液体ナトリウム Na の液面内に入り込むように設定されている。このとき、仕切部材 25 の下端部は、液体ナトリウム Na の液面内に深く入り込む必要はなく、最も液面が低下する充填完了時においても、上部プレナム 14 の内部に形成された不活性ガス充填空間 G を内側空間 Gi 及び外側空間 Go に分割できればよい。

[0048] このような内側空間 Gi 及び外側空間 Go は閉空間であり、従って、両空間の不活性ガス充填圧力を相対的に変化させることにより、両空間に生じる圧力差を利用して冷却材滞留槽 22 に冷却材（液体金属）の充填が可能になる。すなわち、内側空間 Gi 及び外側空間 Go 内の不活性ガス充填圧力を相対的に変化させると、両空間内に生じる圧力差により液体ナトリウム Na の液位が変化するので、この液位変化を利用して冷却材滞留槽 22 の上端部まで冷却材の液体ナトリウム Na を充填することができる。

[0049] また、本実施形態では、不活性ガス充填空間 G にアルゴン等の不活性ガスを供給する不活性ガス供給（充填）系 130 から分岐して、すなわち、内側空間 Gi に不活性ガスを供給する第 1 ガス配管 131 から分岐するようにして、外側空間 Go に不活性ガスを供給する第 2 ガス配管 132 が追設されている。第 1 ガス配管 131 及び第 2 ガス配管 132 には、それぞれ単独での不活性ガス供給を可能にするため、第 1 開閉弁 133 及び第 2 開閉弁 134 が設けられている。

なお、不活性ガス供給系 130 の適所には、図示省略の不活性ガス昇圧用圧縮機が設けられている。

[0050] 換言すれば、上述した内側空間 G_i 及び外側空間 G_o の圧力差は、不活性ガス供給系 130 に接続されて内側空間 G_i に不活性ガスを供給するとともに第 1 開閉弁 133 を備えた第 1 ガス配管 131 と、第 1 開閉弁 133 より上流側で第 1 ガス配管 131 から分岐して外側空間 G_o に不活性ガスを供給するとともに第 2 開閉弁を備えた第 2 ガス配管 132 とを設け、第 1 開閉弁 133 及び第 2 開閉弁 134 の開閉操作により生じさせることができる。

このように、本実施形態の原子炉容器構造は、冷却材滞留槽 22 を備えた原子炉容器 110A に対して、仕切部材 25 と、第 2 ガス配管 132 と、第 1 開閉弁 133 と、第 2 開閉弁 134 とを追加したことにより、冷却材の液体金属を冷却材滞留槽 22 の上端部まで充填可能となる。

[0051] 以下、冷却材滞留槽 22 に液体ナトリウム Na を充填する手順について、一連の原子炉運転状態（定常運転時、通常停止時、充填開始時、充填完了時及び起動準備完了時）とともに説明する。

図 9A に示す原子炉の定常運転時には、不活性ガス供給系 130 から圧力 P_o に設定された不活性ガスが供給されている。このとき、第 1 開閉弁 133 及び第 2 開閉弁 134 はいずれも開とされ、従って、内側空間 G_i 及び外側空間 G_o の内部は、ともに同圧の P_o に維持されている。なお、定常運転時における液体ナトリウム Na の液位は L_3 であり、冷却材滞留槽 22 には、上端部まで液体ナトリウム Na が満たされている。

[0052] このような定常運転時の状態は、原子炉運転状態と不活性ガス圧力との関係を示す不活性ガス圧力運用の説明図（図 14 参照）において、点 A まで継続されている。

なお、図 9 から図 13 において、第 1 開閉弁 133 及び第 2 開閉弁 134 は、全閉状態が黒塗りで表示されている。

[0053] 図 10 に示す原子炉の通常停止時には、内側空間 G_i 、外側空間 G_o 及び冷却材滞留槽 22 の全てにおいて、温度低下に伴って液体ナトリウム Na の

液位が低下する。この液位低下とともに、不活性ガス供給系 130 の圧力は、保守作業のため P_0 から P_1 に低減される。すなわち、図 14 の不活性ガス圧力運用において、原子炉運転状態は点 A から点 B に変化している。

この場合、第 1 開閉弁 133 及び第 2 開閉弁 134 はいずれも開であるから、内側空間 G_i 及び外側空間 G_o の内部は同圧の P_1 に維持される。また、内部空間 G_i の冷却材液位は L_4 まで低下する。

[0054] 図 11 に示す原子炉の充填開始時では、通常停止時に液面低下した冷却材滞留槽 22 の上端部まで液体ナトリウム Na を補充する。すなわち、図 14 に示す不活性ガス圧力運用において、原子炉運転状態は、保守作業等のため点 B から点 C まで、液体ナトリウム Na を保温しながら圧力 P_1 を維持する状態を継続した後、冷却材滞留槽 22 に対する冷却材充填を開始する。このとき、第 2 ガス配管 132 の第 2 開閉弁 134 を全閉とし、かつ、不活性ガス供給系の圧力を P_1 から P_2 に上昇させる。

[0055] こうして冷却材充填が開始されると、図 14 の不活性ガス圧力運用において、不活性ガスの圧力は冷却材充填開始前の点 C (図 10) から冷却材充填中の領域 C' (図 11) に変化する。

この結果、閉空間である内側空間 G_i と外側空間 G_o との間には圧力差が生じ、高圧側 (圧力 P_2) の内側空間 G_i では液面が冷却材液位 L_4 に低下し、低圧側 (圧力 P_1) の外側空間 G_o では液面が上昇する。これは、内側空間 G_i と外側空間 G_o との間が連通しており、液体ナトリウム Na の流通が可能になっているためであり、内側空間 G_i で液面低下した液体ナトリウム Na の容積分だけ外側空間 G_o の液面が上昇する。

[0056] このような液面変化により、外側空間 G_o 内の液体ナトリウム Na は、液面が冷却材滞留槽 22 の上端部に到達し、さらに冷却材滞留槽 22 の内部に流入する。この結果、不活性ガス充填系 130 の圧力調整により、液面低下した冷却材滞留槽 22 の内部に液体ナトリウム Na を充填することができ、最終的には図 12 に示す充填完了時の状態となる。なお、活性ガス充填系 130 の圧力調整には、不活性ガス供給系 130 にもともと設けられている不

活性ガス昇圧用圧縮機を利用すればよい。

[0057] 図 1 2 の充填完了時は、図 1 4 の不活性ガス圧力運用における点 D となり、不活性ガス供給系 1 3 0 の圧力が P_2 に維持されている。

従って、内部空間 G i の内部圧力は P_2 となり、全閉の第 2 開閉弁 1 3 4 により不活性ガス供給系 1 3 0 と遮断されている外部空間 G o の内部圧力は、内部空間 G i 側から内部圧力 P_2 の影響を受けることにより、 P_1 から P_1' に上昇する。すなわち、図 1 4 の不活性ガス圧力運用図においては、圧力変化が内部空間 G i と異なる場合について、外部空間 G o の圧力変化は図中に一点鎖線で示されている。

[0058] そして、本実施形態の原子炉容器構造を備えた原子炉の運転方法は、内部空間 G i の不活性ガス充填圧力を外部空間 G o より高い圧力に設定し、内部空間 G i の液面を押し下げるとともに外部空間 G o の液面を上昇させて冷却材滞留槽 2 2 へ液体ナトリウム Na を充填する起動準備工程を備えている。

このような原子炉の運転方法によれば、内部空間 G i 及び外部空間 G o に生じる圧力差を利用し、冷却材滞留槽 2 2 の上端部まで冷却材の液体ナトリウム Na を確実に充填した状態で原子炉の運転開始が可能になる。この結果、原子炉の起動時においては、温度上昇により膨張した液体ナトリウム Na が冷却材滞留槽 2 2 から液面の低い上部プレナム 1 4 内に溢流することによって、原子炉容器 1 1 0 A の炉壁 1 0 a と接する冷却材の液面高さが冷却材滞留槽 2 2 の上端と一致した一定位置に保たれる。

[0059] こうして冷却材の充填が完了すると、図 1 4 の不活性ガス圧力運用における点 D から点 E まで充填完了時の状態が維持される。この後、上述した充填完了時の状態から第 2 開閉弁 1 3 4 を全開とすると内側空間 G i 及び外側空間 G o がともに圧力 P_2 となり、さらに不活性ガス供給系 1 3 0 の圧力を P_0 に上昇させると、図 1 4 に点 F で示す起動準備完了時の状態となる。

このとき、液体ナトリウム Na は保温されているため温度変化はなく、冷却材滞留槽 2 2 の内部には上端まで液体ナトリウム Na が充填されている。また、冷却材滞留槽 2 2 の内部を除く上部プレナム 1 4 内の冷却材液位 L 6

は、図 1 2 に示す充填完了時の冷却材液位 L 5 よりやや上昇する。

[0060] このような本実施形態の原子炉容器構造によれば、有底の内筒 2 0 から離間した内側に下端部を充填完了時の冷却材液面内まで延在させた仕切部材 2 5 を設けることにより、有液面空間となる不活性ガス充填空間 G の内部を内側空間 G i 及び外側空間 G o に分割し、冷却材となる液体金属の液体ナトリウム N a を冷却材滞留槽 2 2 に充填する際には、内側空間 G i 及び外側空間 G o の不活性ガス充填圧力を相対的に変化させて生じる圧力差を利用した充填が可能となる。

このため、原子炉の起動準備として、原子炉容器 1 1 0 A 内の冷却材滞留槽 2 2 に液体ナトリウム N a を容易かつ安全に充填できるようになる。すなわち、液体金属が空気と接触しないよう十分な配慮を必要とする液体ナトリウム N a の液体金属供給配管を新たに増設する必要はなく、仕切部材 2 5 の増設と不活性ガス供給系 1 3 0 の簡単な改造とを実施するだけで、特に原子炉の起動時に問題となる炉壁 1 0 a の熱応力対策が実現する。

[0061] この熱応力対策について具体的に説明すると、図 1 3 に示す起動準備完了時のように、原子炉の起動前に冷却材滞留槽 2 2 の上端まで液体ナトリウム N a を充填しておく、起動時の温度上昇により膨張した液体ナトリウム N a が冷却材滞留槽 2 2 から液面の低い上部プレナム 1 4 内に溢流する。従って、原子炉の起動時には、原子炉容器 1 1 0 A の壁面と接する液体ナトリウム N a の液面高さが冷却材滞留槽 2 2 の上端と一致し、定常運転まで変動することなく一定に保たれる。

[0062] ところで、上述した原子炉容器 1 1 0 A は、内側空間 G i 内及び外側空間 G o 内の液位を検出する液位検出部（不図示）を備えていることが望ましい。すなわち、内部空間 G 内で変化する液体ナトリウム N a の液位を検出するため、たとえば仕切部材 2 5 や内筒 2 0 の壁面に液面センサを設置して不活性ガス供給系 1 3 0 の圧力調整に利用すればよい。

具体的に説明すると、内部空間 G 内で変化する液体ナトリウム N a の液位を段階的または連続的に検出し、上述した原子炉運転状態に対応する所定の

液位まで液面変化したことを確認すれば、不活性ガス昇圧用圧縮機の運転制御を確実に行うことができる。すなわち、内側空間G内の正確な液面管理が可能になるので、冷却材滞留槽22に対して冷却材の液体ナトリウムNaを確実に充填することができる。

[0063] このようにして、原子炉起動時に炉壁10aと接する液体ナトリウムNaの液位を一定に保つことができると、図15に示す「液位一定の場合」のように、液体ナトリウムNaの液面近傍において軸方向に生じていた大きな温度勾配を低減でき、この結果、液面近傍部の熱応力も小さくなる。

このため、原子炉の供用期間中に起動・停止を繰り返しても、原子炉容器110Aに対して繰り返し発生する熱応力を低減できるので、起動のたびに原子炉容器10Aの径が縮む変形（液面ラチェット）やクリープ疲労による破損の問題を低減または解消することができる。

また、冷却材滞留槽22を設けることにより、上述した起動時のみならず、液体ナトリウムNaの体積が収縮する通常停止時や緊急停止時においても、炉壁10aと接する液体ナトリウムNaの液面の下がり幅を小さくすることができ、液面近傍部の熱応力が小さくなるなど、熱応力に起因する懸念を軽減することができる。

[0064] また、上述した実施形態は、図17に示した従来例に対する追加設備として、内筒底面21を有する内筒20及び仕切部材25の追設と、上部プレナム14に不活性ガスを供給する不活性ガス充填系130の改造のみである。すなわち、原子炉容器110A内は単純な構造の円筒20及び仕切部材25を追加するだけでよく、しかも、不活性ガス充填系130の改造も単純な構成で大がかりなものではないから、比較的低コストで容易に実施することが可能である。

[0065] 上述した本実施形態の原子炉容器構造によれば、原子炉の起動時において、原子炉容器110Aの炉壁10aと接する液体ナトリウムNaの液面高さは、常に冷却材滞留槽22の上端と一致する一定位置に保たれる。この結果、原子炉容器10Aの壁面においては、軸方向の温度勾配が緩和されて発生

する熱応力も小さくなるので、原子炉容器の信頼性や運用性がより一層向上するという顕著な効果を得られる。

[0066] また、上述した本実施形態は、有底内筒に仕切部材を追加する容器構造の変更と、不活性ガス供給系の簡単な改造により実施できるため、追加設備を最小限に抑え、しかも、高い耐熱成立性を有している。特に、空気との接触防止対策が必要となるナトリウムのような液体金属（冷却材）配管を増設する必要がないため、プラントの信頼性や耐久性の向上に大きな効果を奏する。

[0067] また、内側空間G_i及び外側空間G_oの不活性ガス充填圧力を相対的に変化させて生じる圧力差を利用して冷却材滞留槽22に冷却材の液体金属を充填する場合、圧力差の形成が内側空間G_i側の昇圧に限定されることはなく、たとえば外側空間G_o側の圧力を低下させるように逆の圧力調整を行ってもよい。

[0068] また、上述した本実施形態は、たとえば特許文献3～5に記載されているような貯留バケット内に冷却材を充填する場合にも適用可能である。

なお、本発明は上述した実施形態に限定されることはなく、たとえば冷却材や不活性ガスの種類、冷却材充填系の構成や充填・回収手順など、その要旨を逸脱しない範囲内において適宜変更することができる。

符号の説明

[0069] 10A, 110A 原子炉容器

10a 炉壁

11 炉心

12 スカート部

13 隔壁

14 上部プレナム

15 ルーフデッキ

20 内筒

21 内筒底面

- 2 2 冷却材滞留槽
- 2 5 仕切部材
- 3 0 ナトリウム (N a) 充填系
- 3 1 充填流路
- 3 2 回収流路
- 3 3, 3 4 仕切弁
- 1 3 0 不活性ガス充填系
- 1 3 1 第 1 ガス配管
- 1 3 2 第 2 ガス配管
- 1 3 3 第 1 開閉弁
- 1 3 4 第 2 開閉弁
- G 不活性ガス充填空間
- G i 内部空間
- G o 外部空間

請求の範囲

- [請求項1] 炉心を収納した原子炉容器内に、液体金属の冷却材を充填した液面上部に不活性ガス充填空間が形成されている有液面空間を設けた原子炉容器構造において、
- 前記有液面空間の容器壁面内側に原子炉定常運転時の冷却材液面より高い位置まで有底内筒を設置することにより、前記容器壁面と前記内筒との間に形成された冷却材滞留槽と、
- 前記冷却材を前記冷却材滞留槽に供給するとともに、前記有液面空間内から前記冷却材を回収する冷却材供給・回収系統とを備えていることを特徴とする原子炉容器構造。
- [請求項2] 請求項1に記載の原子炉容器構造を備えている原子炉の運転方法において、
- 前記冷却材滞留槽の上端まで前記冷却材を供給するとともに、前記有液面空間内に充填されている前記冷却材から前記冷却材滞留槽への供給量と同量を回収する準備工程を備えていることを特徴とする原子炉の運転方法。
- [請求項3] 炉心を収納した原子炉容器内に、液体金属の冷却材を充填した液面上部に不活性ガス充填空間が形成されている有液面空間を設け、該有液面空間の容器壁面内側に、原子炉定常運転時の冷却材液面より高い位置まで有底内筒を設置して前記容器壁面と前記有底内筒との間に形成された冷却材滞留槽を備えている原子炉容器構造であって、
- 前記有底内筒から離間した内側に下端部を充填完了時の液面内まで延在させた仕切部材を設けて前記有液面空間の内部を内側空間及び外側空間に分割し、
- 前記液体金属が、前記内側空間及び前記外側空間の不活性ガス充填圧力を相対的に変化させて生じる圧力差を利用して前記冷却材滞留槽に充填されることを特徴とする原子炉容器構造。
- [請求項4] 前記圧力差は、不活性ガス供給系に接続されて前記内側空間に不活

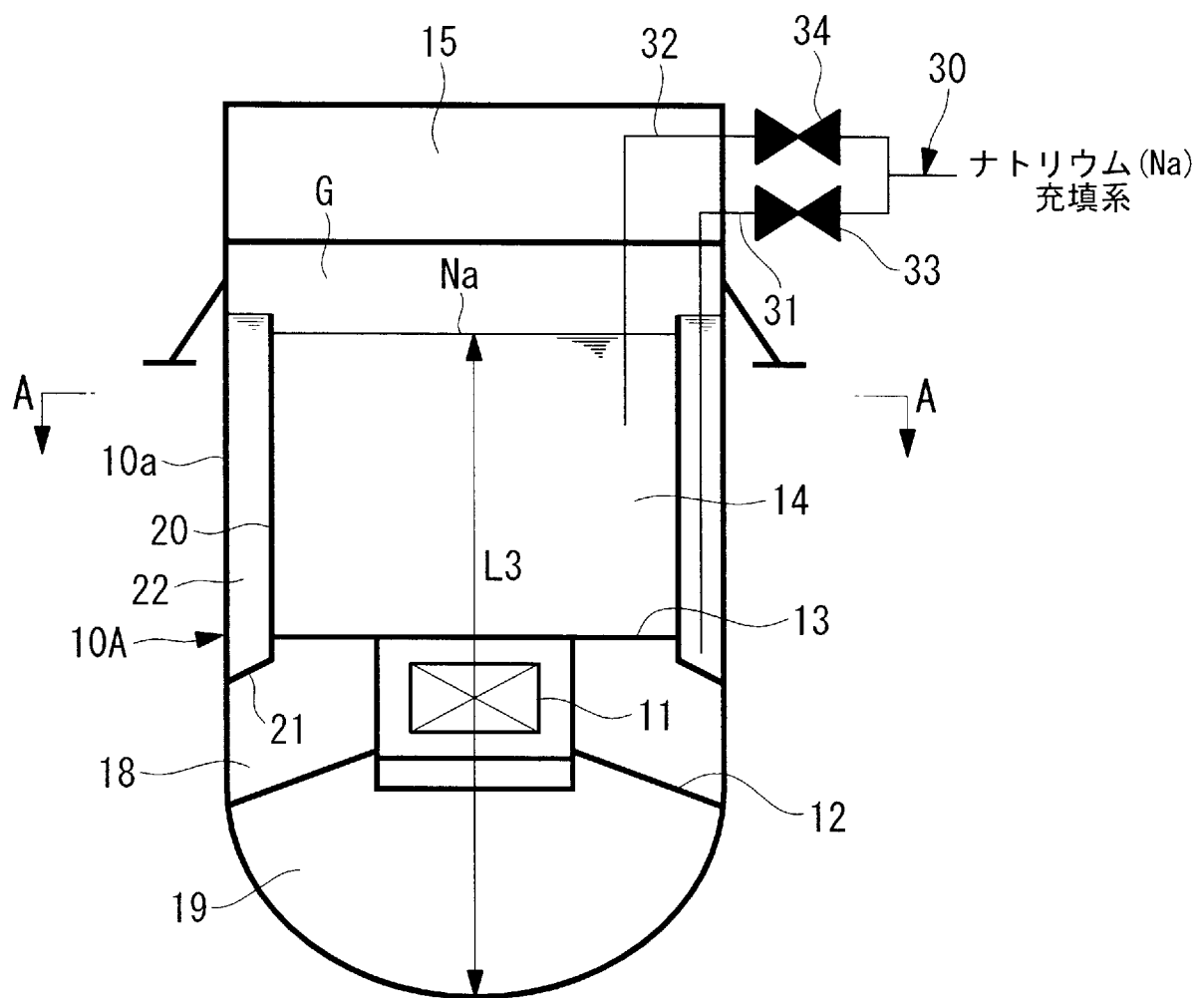
性ガスを供給するとともに第1開閉弁を備えた第1ガス配管と、前記第1開閉弁より上流側で前記第1ガス配管から分岐して前記外側空間に不活性ガスを供給するとともに第2開閉弁を備えた第2ガス配管とを設け、前記第1開閉弁及び前記第2開閉弁の開閉操作により生じさせることを特徴とする請求項3に記載の原子炉容器構造。

[請求項5] 前記内側空間内の液位を検出する液位検出部を備えていることを特徴とする請求項3または4に記載の原子炉容器構造。

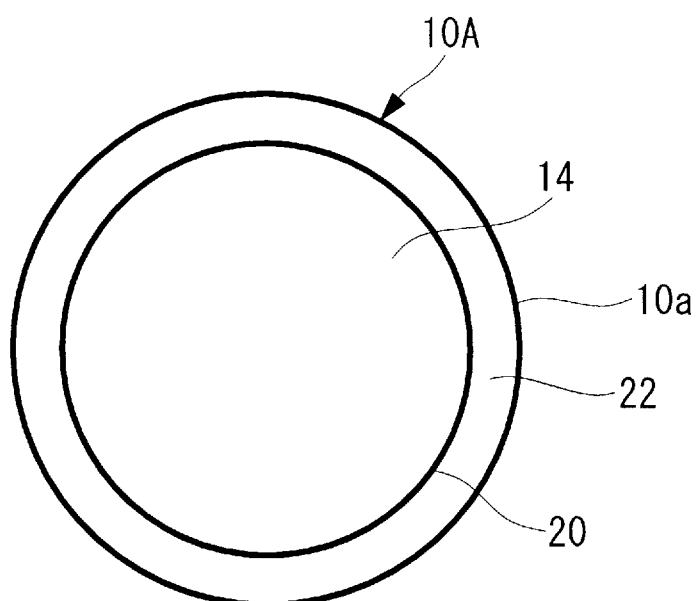
[請求項6] 請求項3から5のいずれか1項に記載の原子炉容器構造を備えている原子炉の運転方法であって、

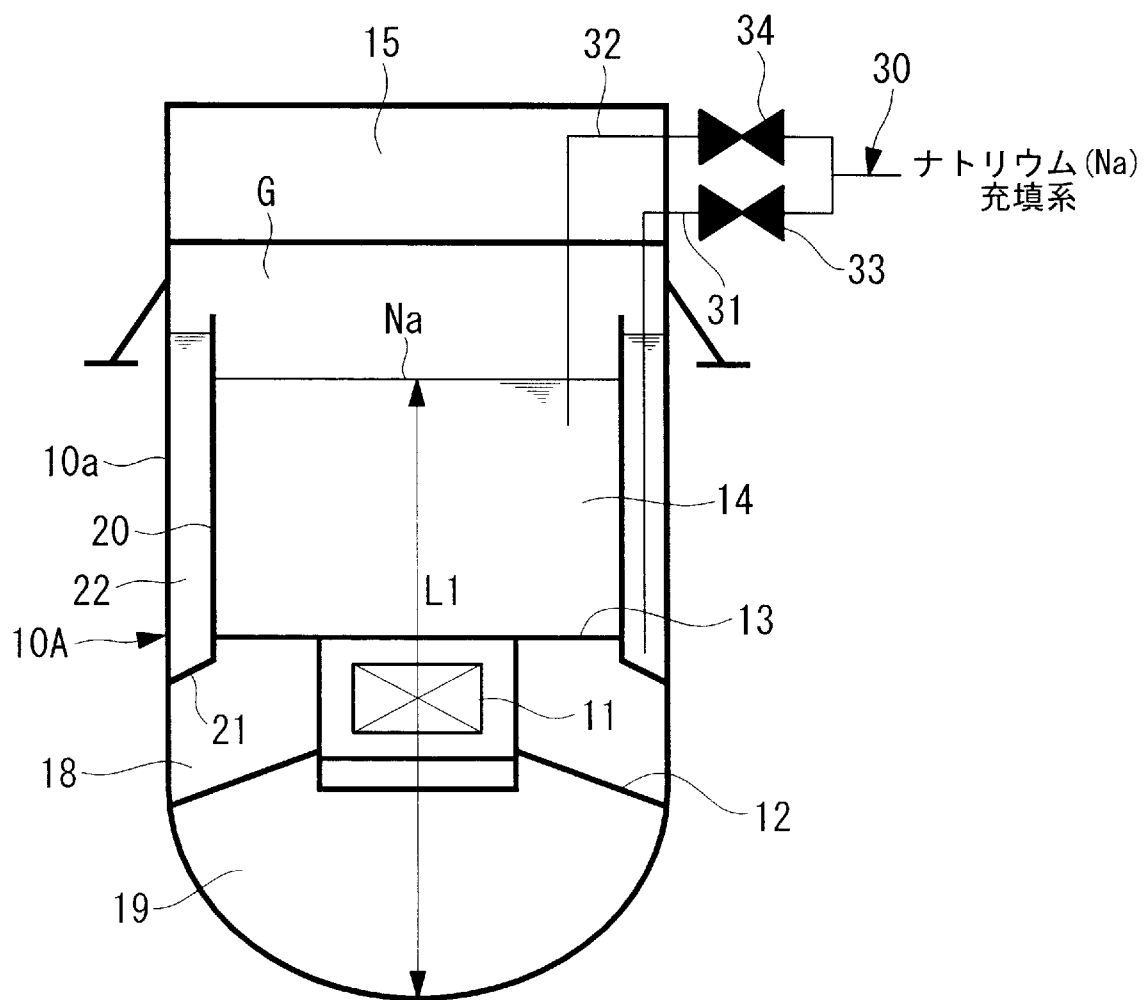
前記内部空間の不活性ガス充填圧力を前記外部空間より高い圧力に設定し、前記内部空間の液面を押し下げるとともに前記外部空間の液面を上昇させて前記冷却材滞留槽へ前記液体金属を充填する起動準備工程を備えていることを特徴とする原子炉の運転方法。

[図1A]

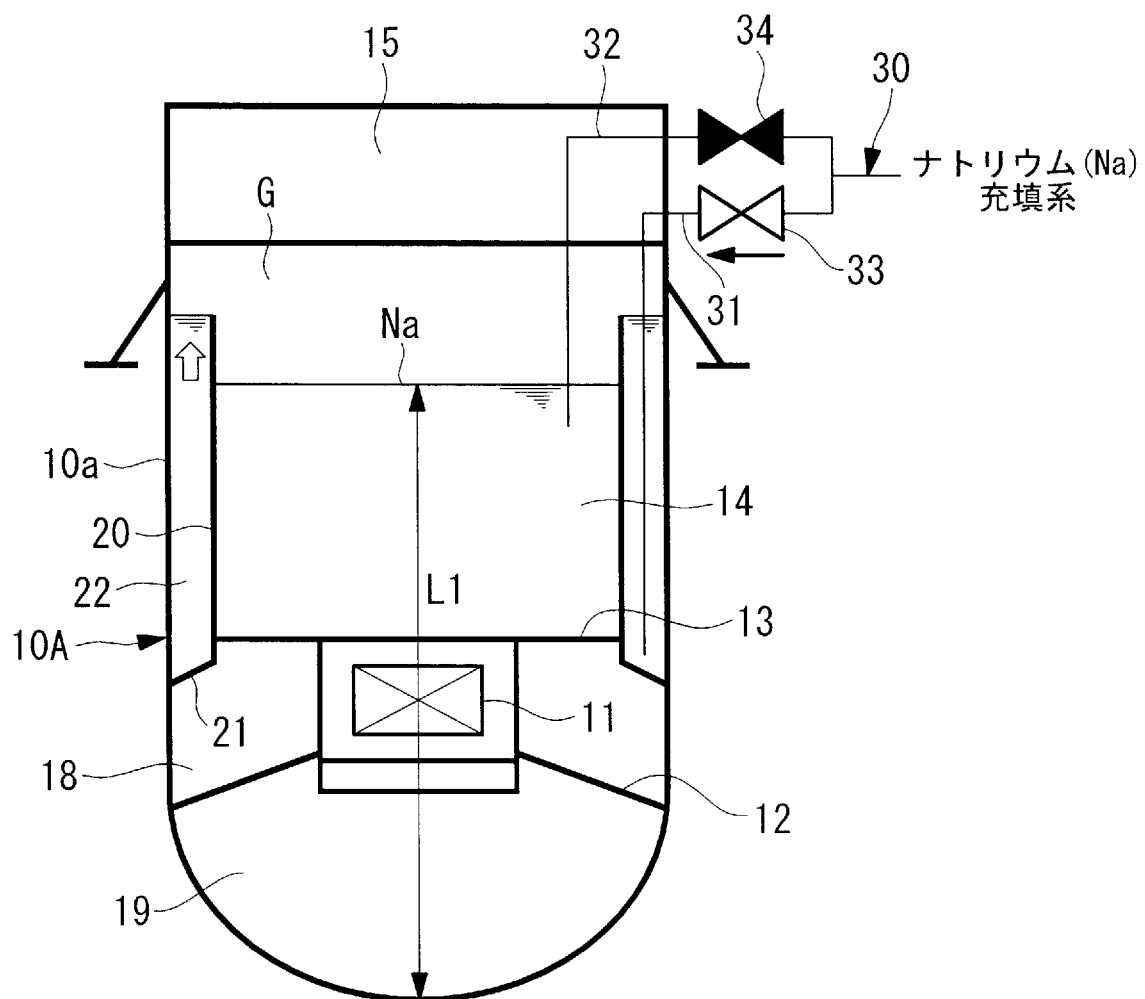


[図1B]

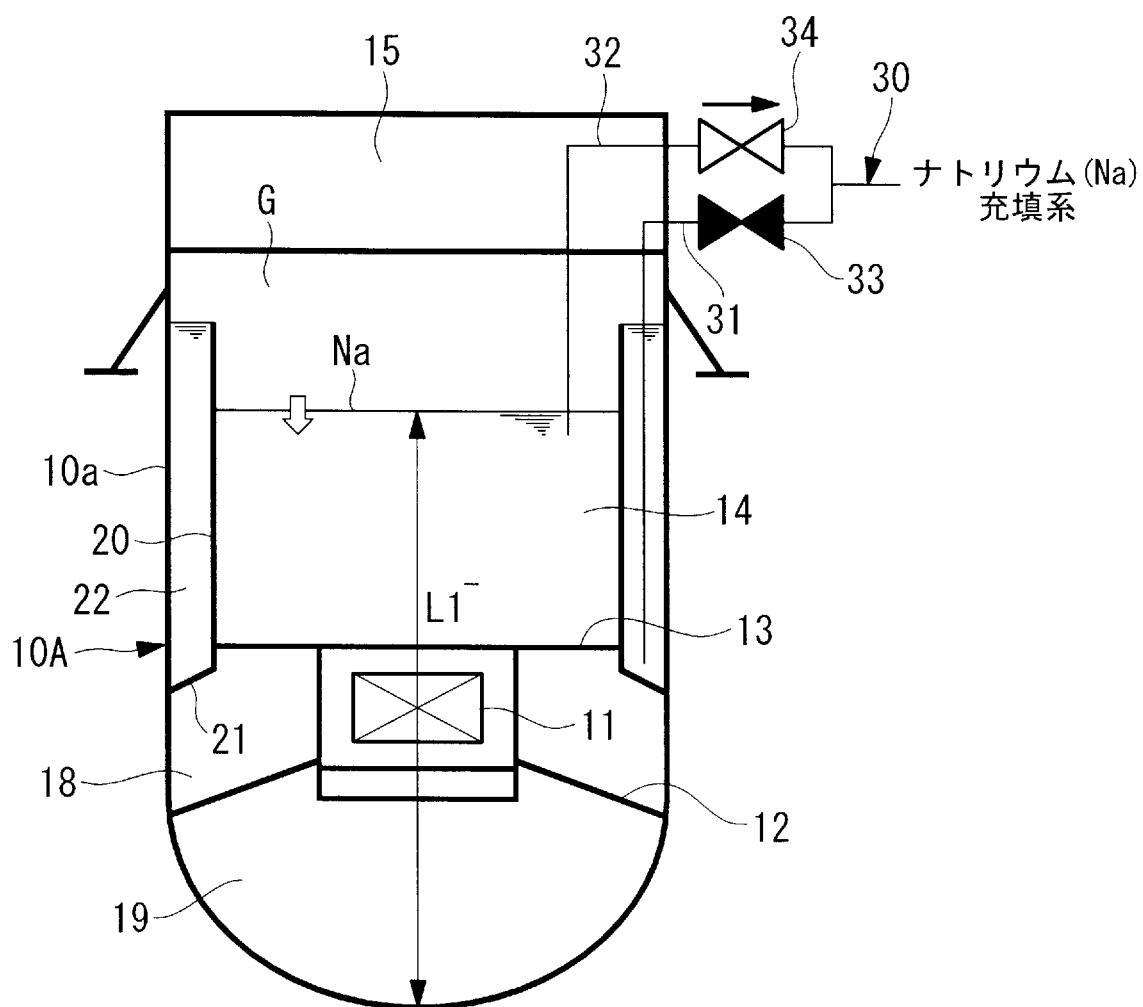




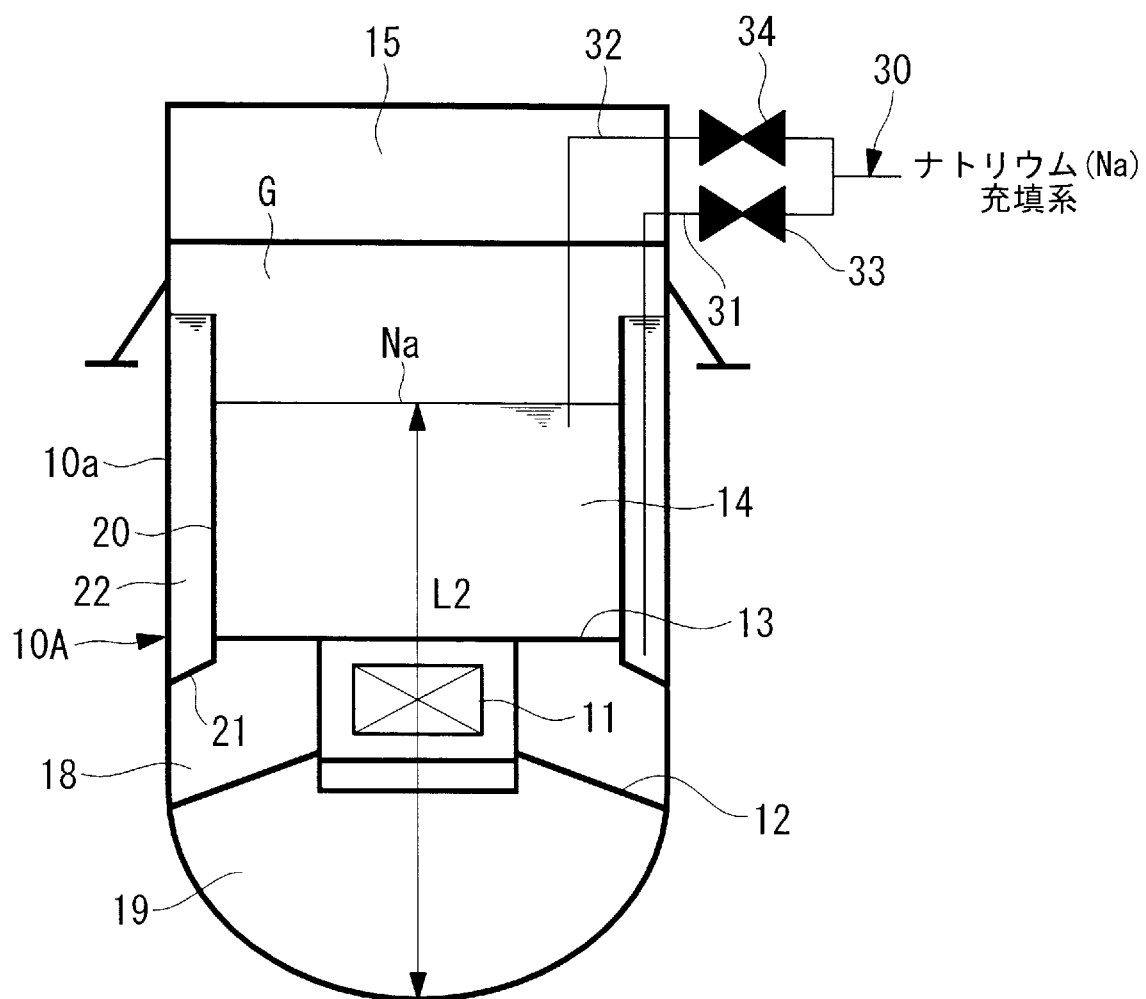
[図3]



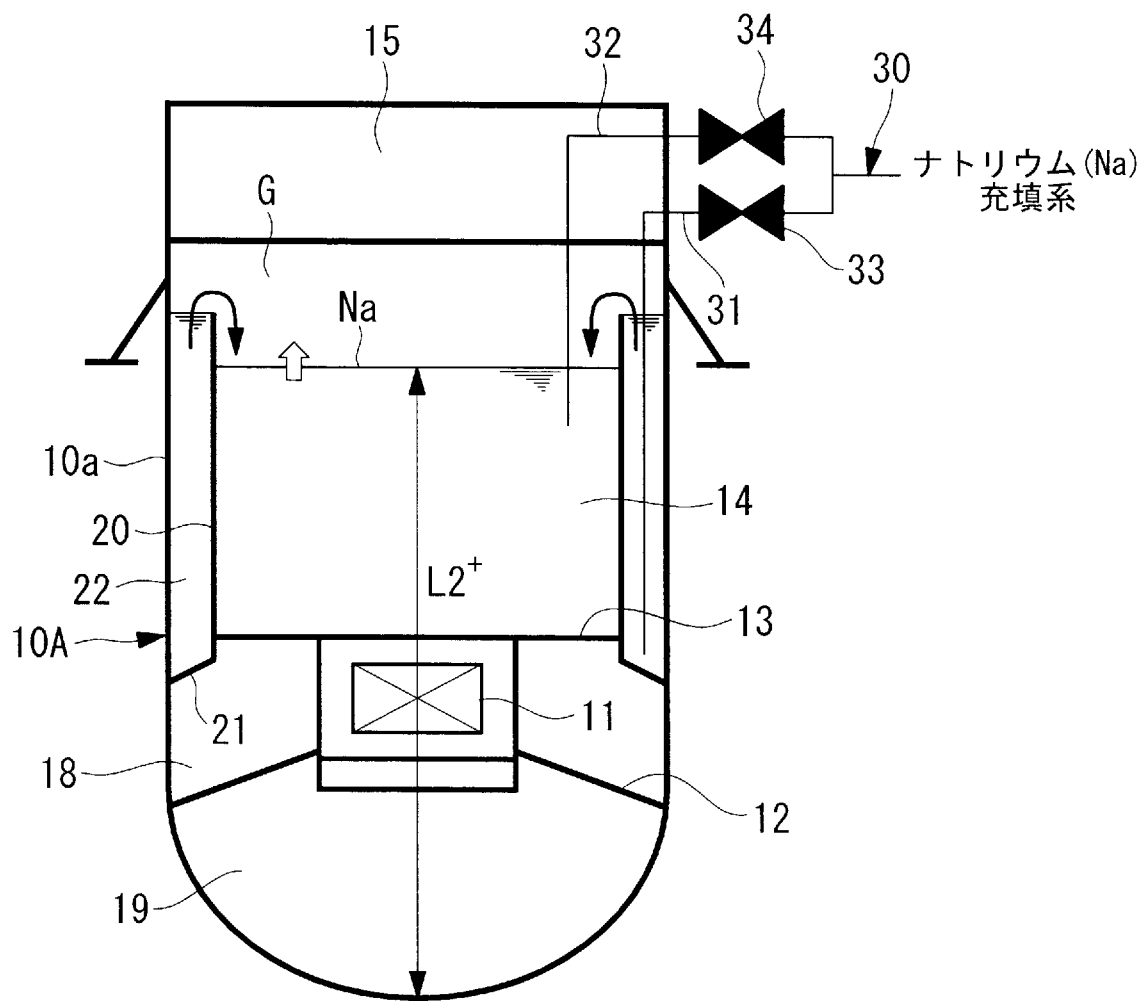
[図4]

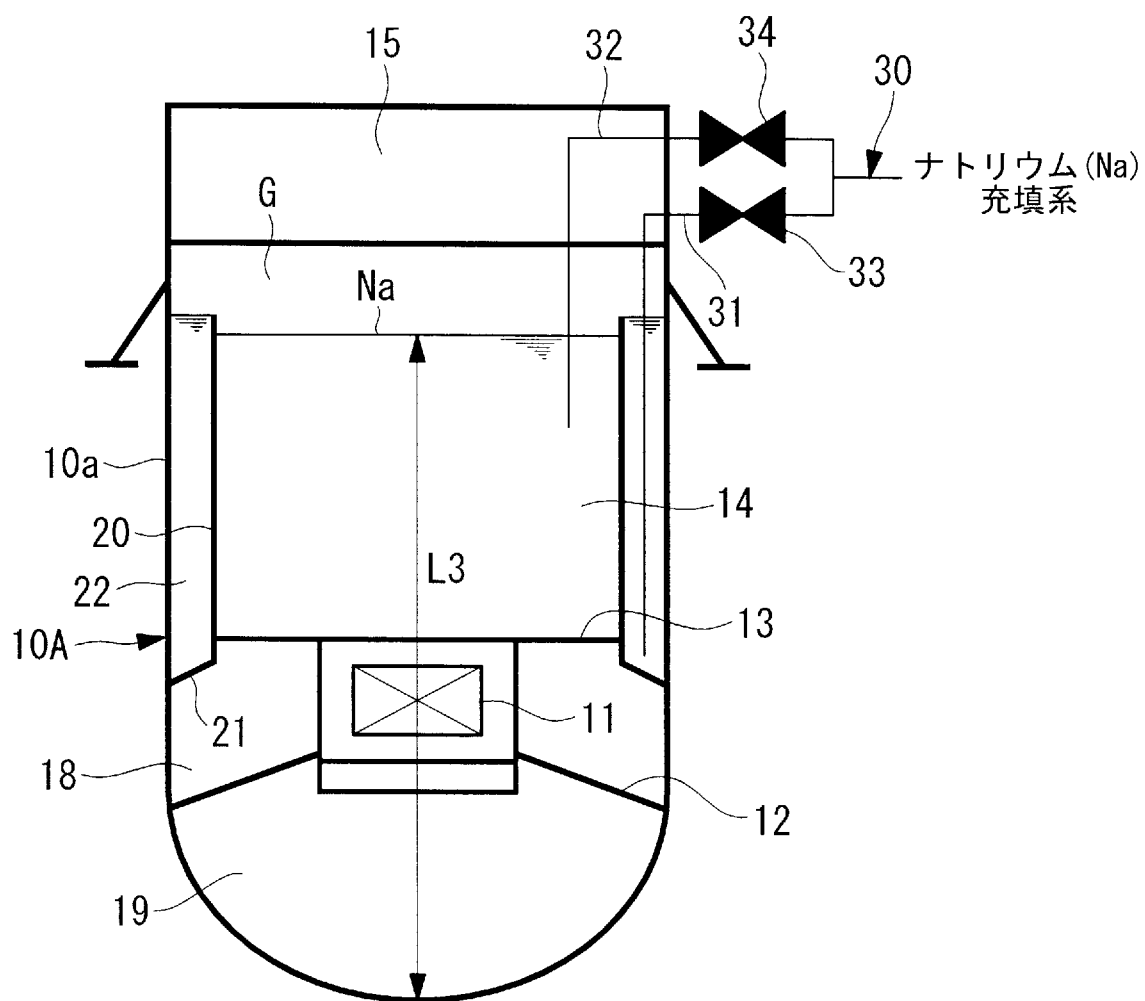


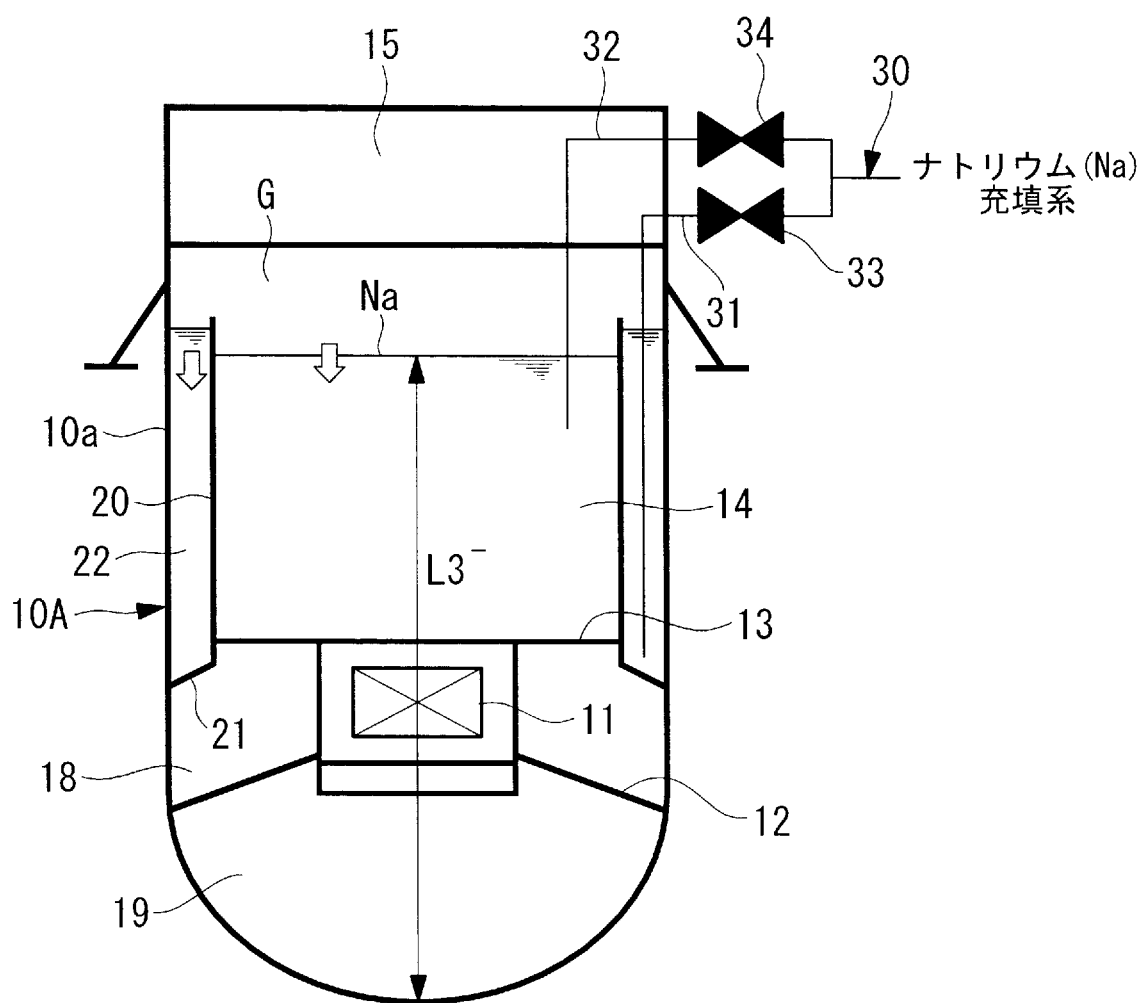
[図5]



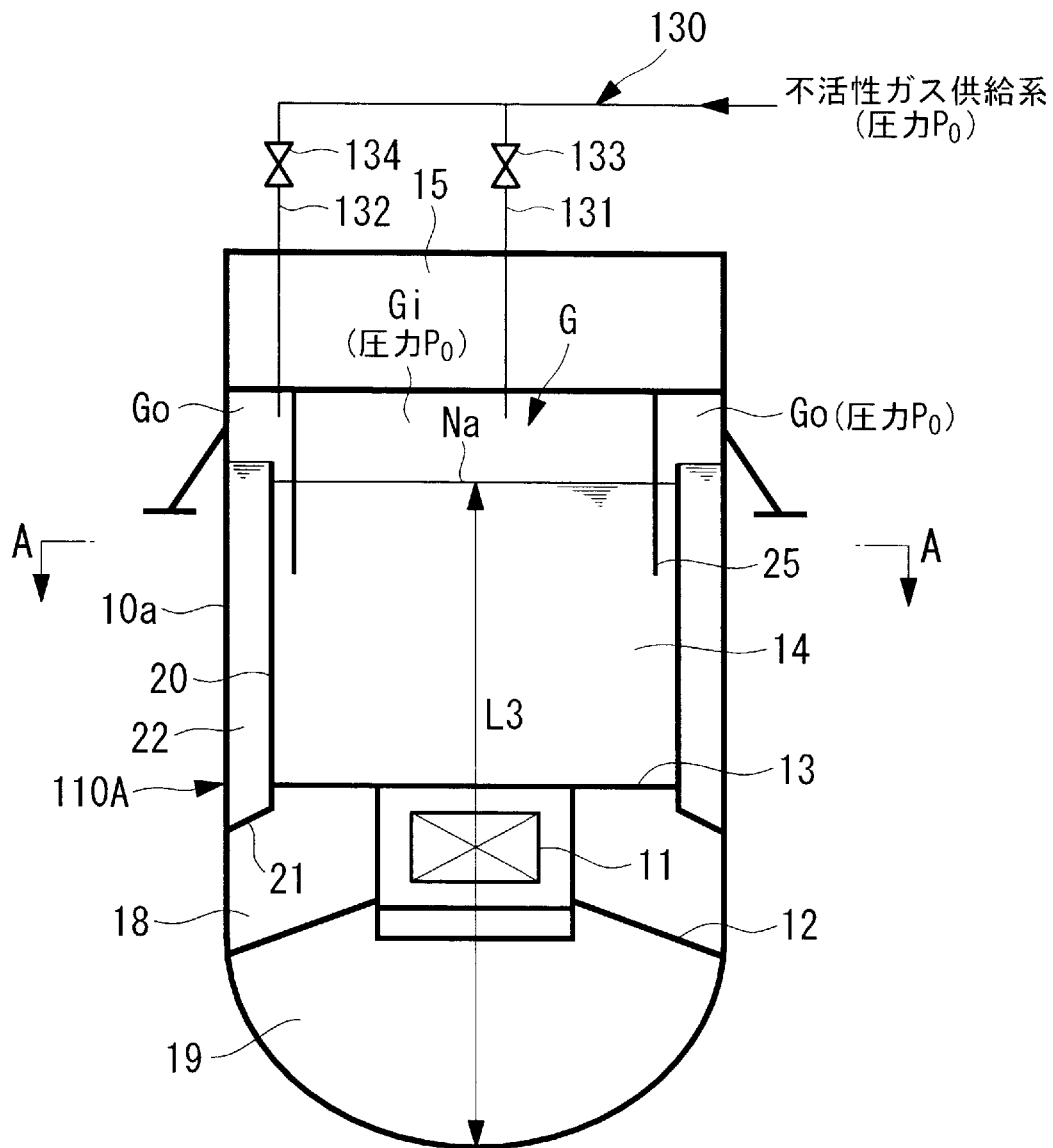
[図6]



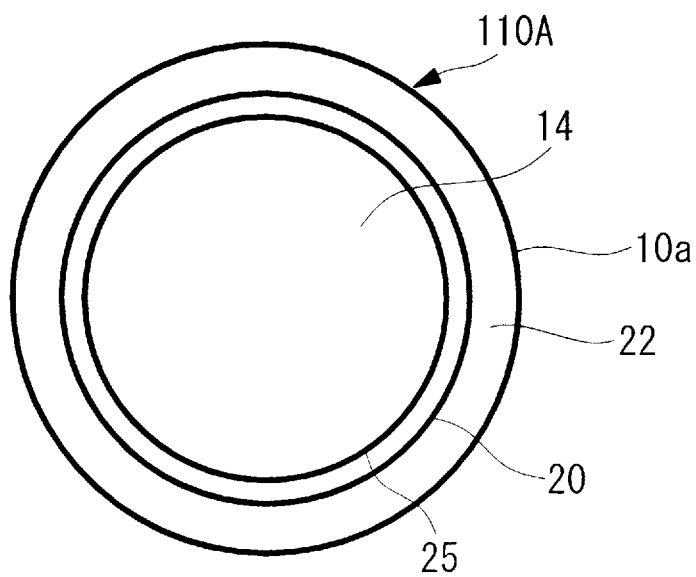




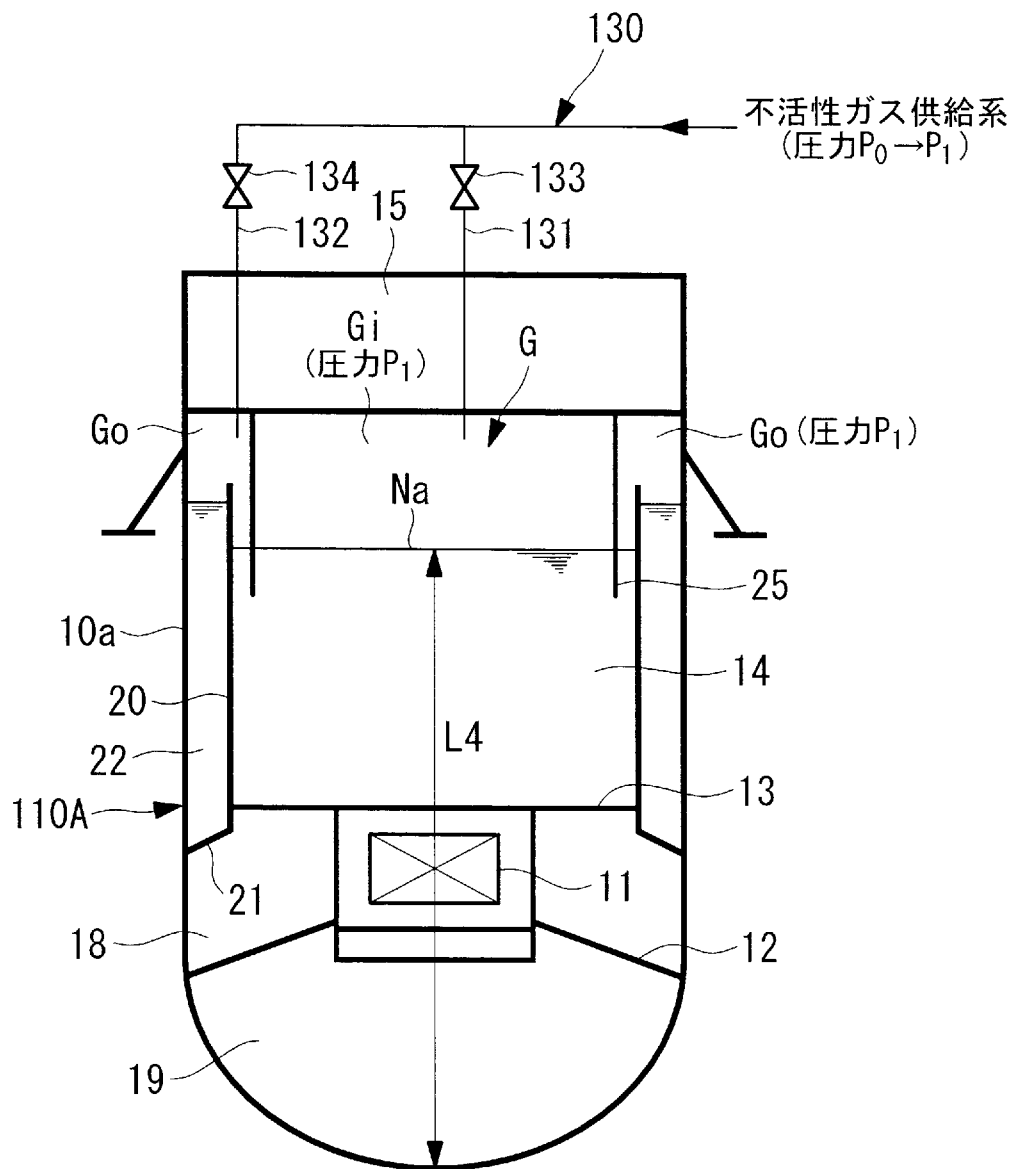
[図9A]



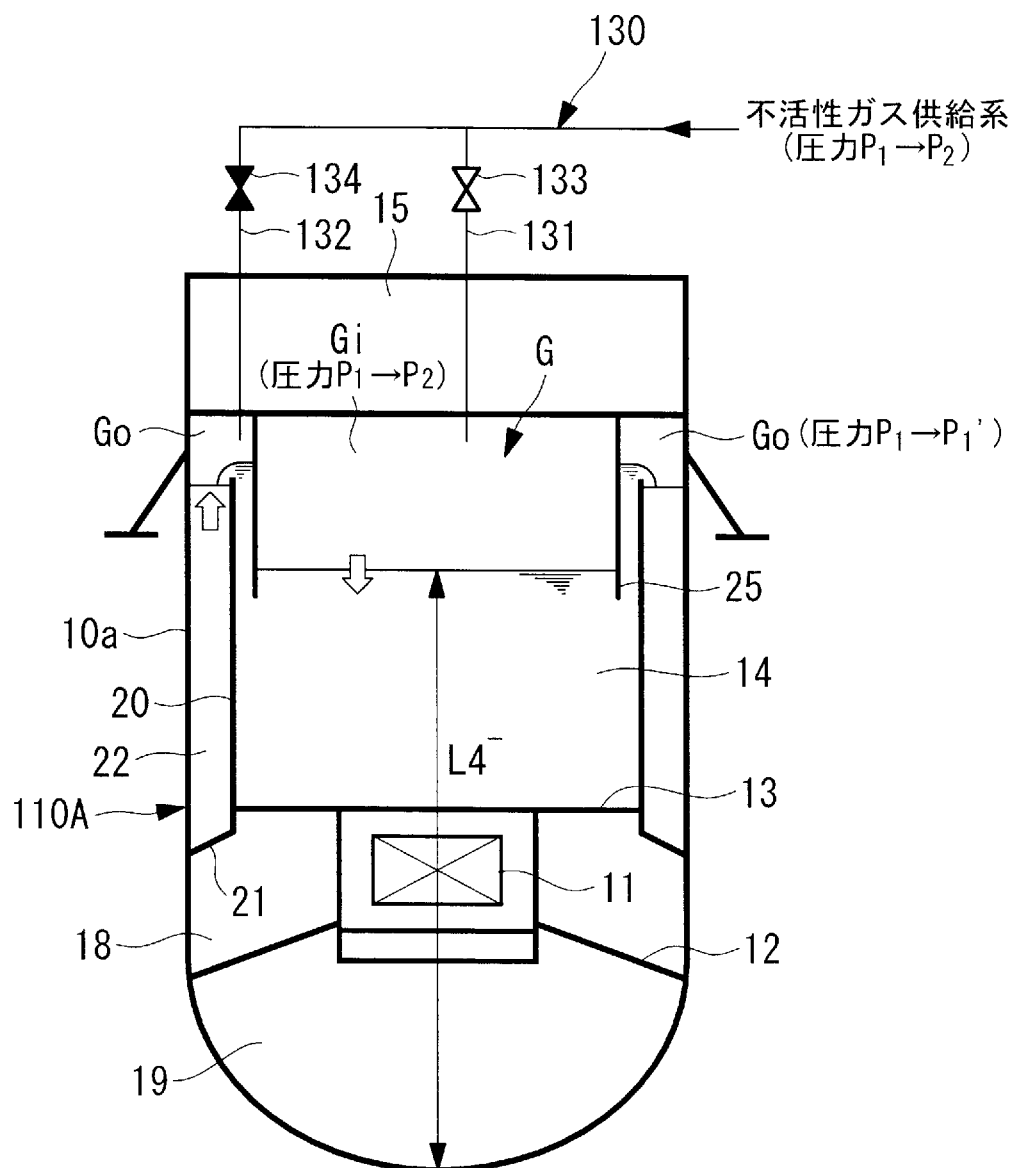
[図9B]

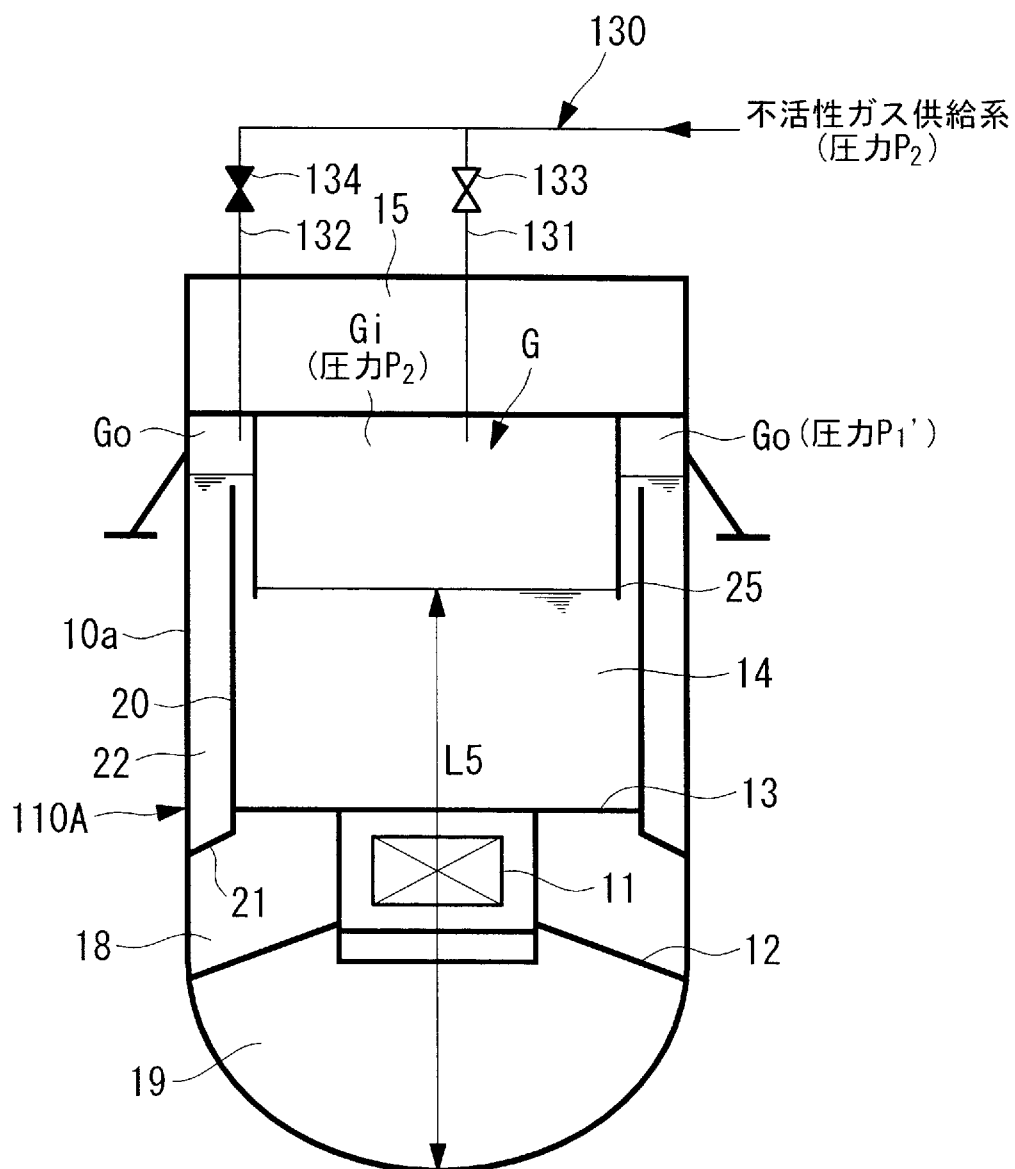


[図10]

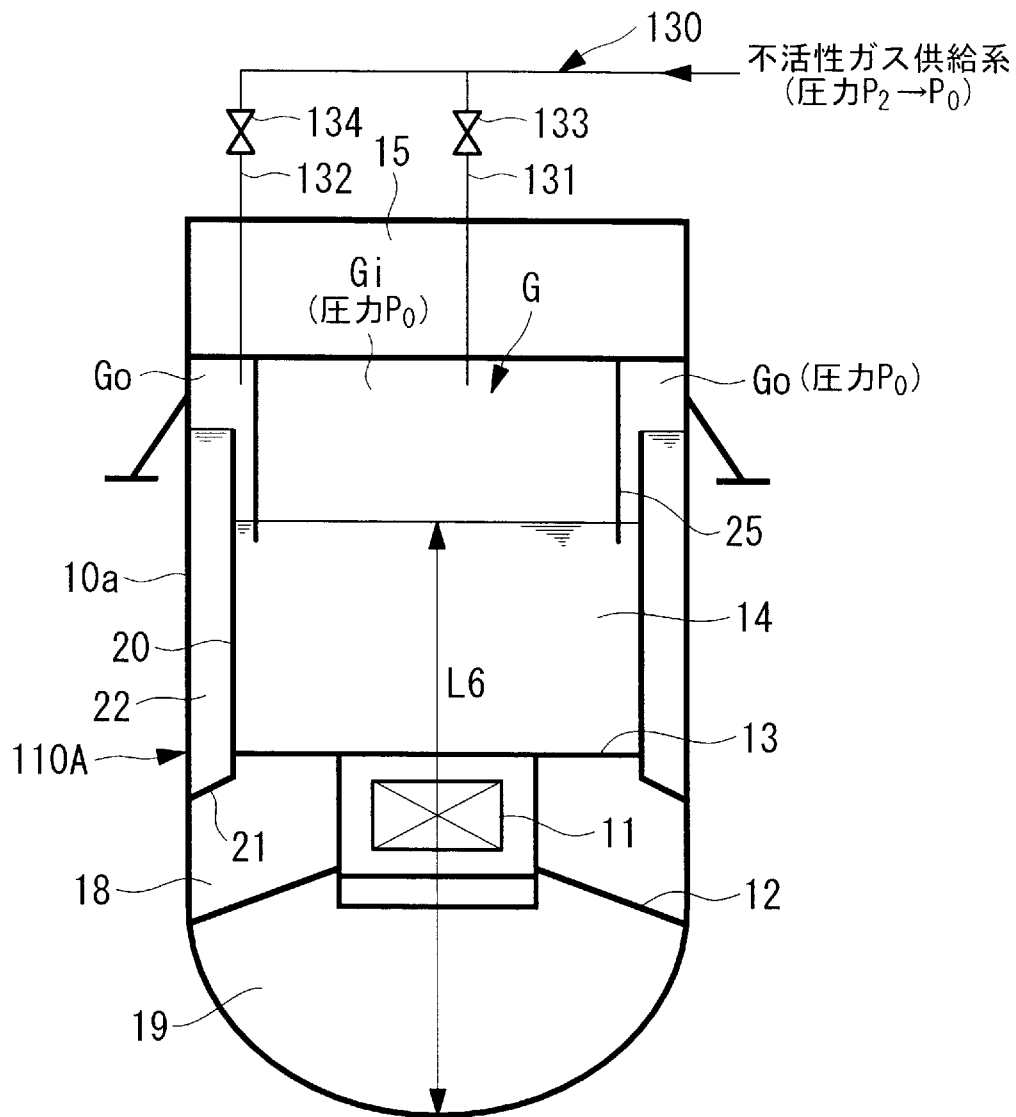


[図11]

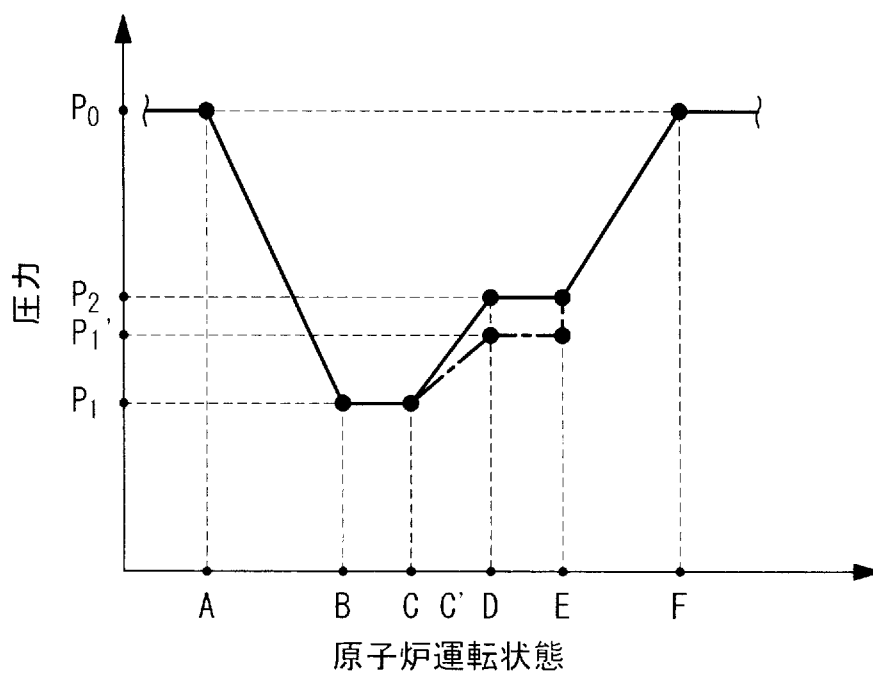




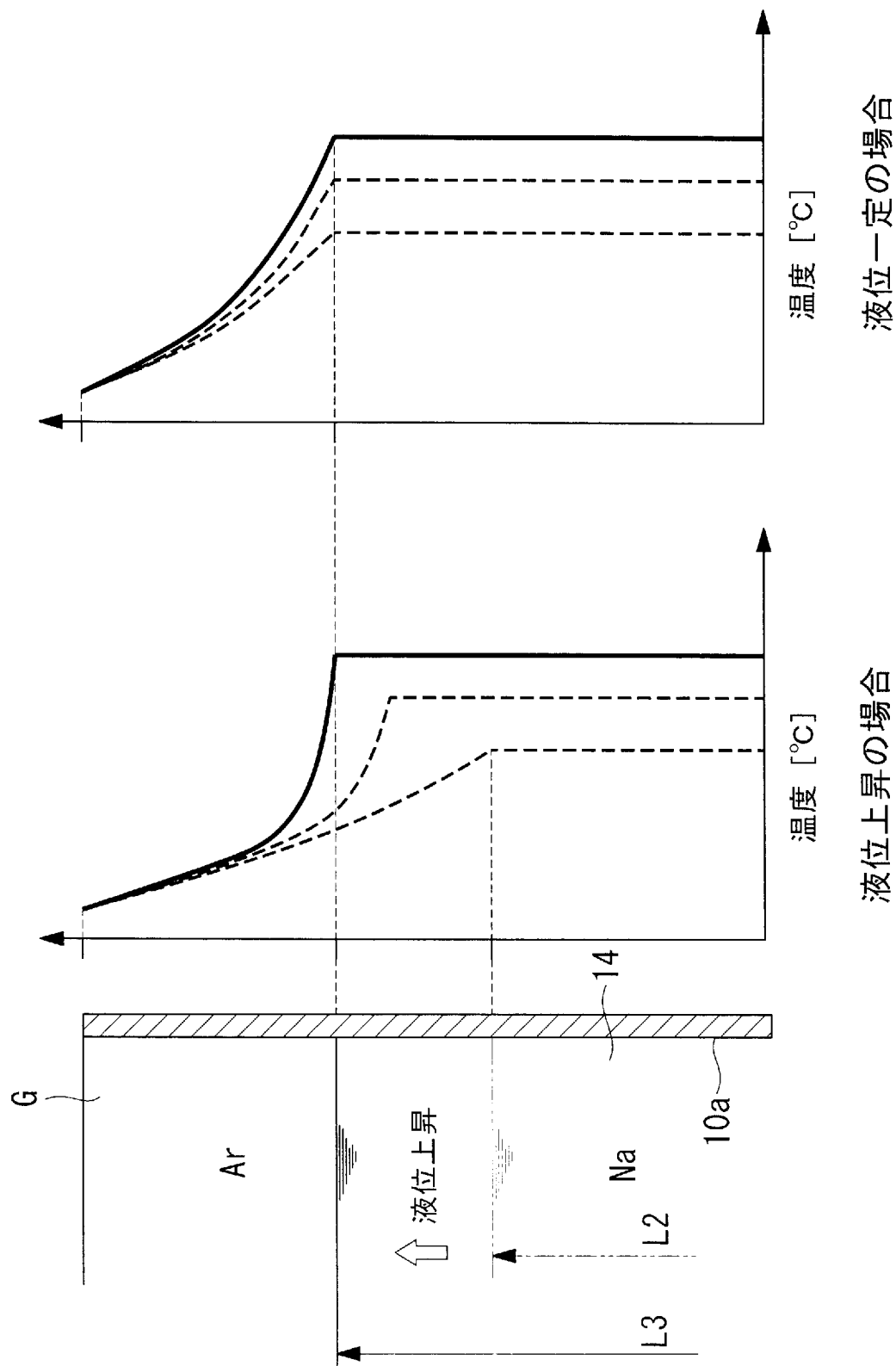
[図13]

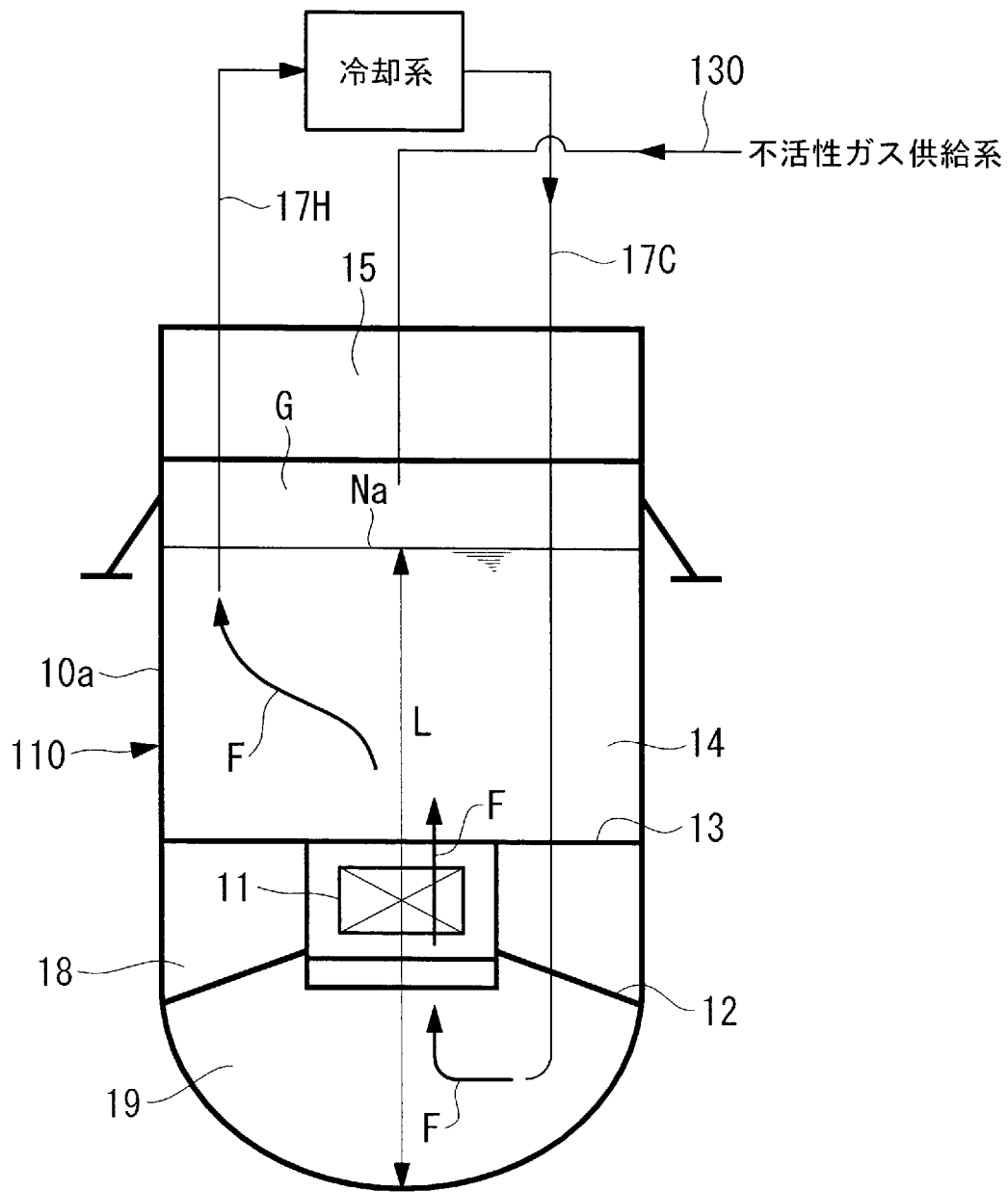


[図14]



[図15]





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/065652

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G21C1/02(2006.01) i, G21C15/02(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G21C1/02, G21C15/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 92503/1984 (Laid-open No. 8895/1986) (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 20 January 1986 (20.01.1986), entire text; all drawings (Family: none)	1-2
X	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 92504/1984 (Laid-open No. 8896/1986) (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 20 January 1986 (20.01.1986), entire text; all drawings (Family: none)	1-2

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* 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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
04 October, 2011 (04.10.11)Date of mailing of the international search report
11 October, 2011 (11.10.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/065652

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 62-46290 A (Toshiba Corp.), 28 February 1987 (28.02.1987), entire text; all drawings (Family: none)	1-2
A	JP 61-96489 A (Toshiba Corp.), 15 May 1986 (15.05.1986), entire text; all drawings (Family: none)	1-2
A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 185030/1984 (Laid-open No. 99594/1986) (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 25 June 1986 (25.06.1986), entire text; all drawings (Family: none)	1-2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/065652

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Document 1 or 2 discloses to have the technical feature (hereinafter, referred to as "feature A") of "a reactor vessel structure in which space having liquid level at which cover gas space is formed on the upper section of the liquid level, which is filled with coolant consisting of liquid sodium is provided within a reactor vessel in which a reactor core is contained, and which is provided with a coolant storage section of a cylindrical body, which has a bottom on the inside of the reactor vessel wall surface of the space having the liquid level, and exists up to a position higher than coolant liquid level at the time of reactor steady operation," and also discloses the technical (continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1-2

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/065652

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

feature (hereinafter, referred to as "feature B") that "coolant has a structure of being recovered from space having liquid level, and supplied to a coolant storage section." Consequently, the invention in claim 1 cannot be considered to have novelty and inventiveness in the light of the invention described in the document 1 or 2, and does not have a special technical feature.

Therefore, two invention groups comprising the inventions in claims 1-2 and the inventions in claims 3-6 are involved in claims.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G21C1/02 (2006.01) i, G21C15/02 (2006.01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G21C1/02, G21C15/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	日本国実用新案登録出願 59-92503 号 (日本国実用新案登録出願公開 61-8895 号) の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム (三菱重工業株式会社) 1986.01.20, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-2
X	日本国実用新案登録出願 59-92504 号 (日本国実用新案登録出願公開 61-8896 号) の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム (三菱重工業株式会社) 1986.01.20, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-2

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 4 . 1 0 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 1 . 1 0 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

青木 洋平

2 I

3 1 0 4

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 3

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 62-46290 A (株式会社東芝) 1987. 02. 28, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-2
A	JP 61-96489 A (株式会社東芝) 1986. 05. 15, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-2
A	日本国実用新案登録出願 59-185030 号 (日本国実用新案登録出願公開 61-99594 号) の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム (三菱重工業株式会社) 1986. 06. 25, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-2

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

文献1または2には、「炉心を収納した原子炉容器内に、液体ナトリウムよりなる冷却材を充填した液面上部にカバーガス空間が形成されている液面を有する空間を設け、該液面を有する空間の容器壁面内側には、底を有し、原子炉定常運転時の冷却材液面より高い位置まで存在する筒体である冷却材溜り部を備えている原子炉容器構造」という技術的特徴（以下、「特徴A」とする）を有することが記載され、「冷却材は、液面を有する空間内から回収されて冷却材溜り部に供給される構造」という技術的特徴（以下、「特徴B」とする）も記載されている。よって、請求項1に係る発明は、文献1または2に記載された発明に対して新規性および進歩性が認められず、特別な技術的特徴を有しない。

したがって、請求の範囲には、請求項1-2に係る発明と請求項3-6に係る発明との2つの発明が含まれる。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

1-2

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。