

「もんじゅ」特集

「もんじゅ」の設計

4. 原子炉冷却系

高速増殖炉開発本部・原型炉建設部・機械課

資料番号：51-5

4. Reactor Heat Transport System
Mechanical Engineering Section, Monju Construction
Division, FBR Development Project

原子炉冷却系は、1次主冷却系、2次主冷却系、主蒸気系で構成され、原子炉で発生する熱を除去し、併せて除去した熱をタービン・発電機に導き発電することを目的として設置する。以下にこれらについての概要を述べる。

Key Words : Reactor Heat Transport System, Reactor Vessel, Reactor Shielding Plug, Primary Heat Transport System, Secondary Heat Transport System, Steam Generation System, Reactor Heat, Decay Heat.

4.1 原子炉冷却系

原子炉冷却系は、原子炉で発生する熱を除去し、併せて除去した熱をタービン・発電機に導き発電することを目的として設置する。通常運転時、炉心の発生熱は各々3系統から構成する1次主冷却系、2次主冷却系を経て主蒸気系に伝えられ、タービン・発電機を駆動した後残りの熱は復水器を経て循環水系の海水によって海に放出される。原子炉冷却系の系統図を図4-1に、主要目を表4-1に示す。

4.2 原子炉容器及び遮蔽プラグ

原子炉容器は、上部フランジ支持の底部鏡板付円筒なて型容器で、胴下部には炉内構造物取付台が設けられている。原子炉容器上部にはしゃへいプラグを設置し、ナトリウム液面上をアルゴンガス雰囲気下で保つ。原子炉容器胴部の内径は上部で7.8m、円錐形胴より下部で7.1mであり、胴部には1次冷却材出入口ノズルのほか各種の小口径ノズルが取り付けられる。原子炉容器内のナトリウム液位は通常運転時1次オーバフロー系によって所定の範囲に維持される。原子炉容器の構造を図4-2に示す。

しゃへいプラグは、単回転プラグ形式で、原子炉容器の上部に配置され、固定プラグ、回転プラグ、回転プラグ駆動装置、カバーガスシール機構等から構成されている。しゃへいプラグは、炉心からの放射線と熱しゃへいを行うと共に、燃料交換時には回

転プラグの回転と燃料交換装置の回転とにより、燃料交換装置グリッパを移動し、位置決めすることができる。固定プラグには炉内中継装置等が、回転プラグには炉心上部機構、燃料交換装置等が搭載される。デッププレートは出力運転時の原子炉容器内ナトリウム液面の異常な波立ちを抑制している。しゃへいプラグの構造を図4-3に示す。

4.3 1次主冷却系

1次主冷却系は炉心で発生する熱を2次主冷却系へ伝えるための系統であり、定格出力時、内包する1次冷却材は1次主冷却系循環ポンプにより約397°Cで原子炉容器に送られ、炉心通過の際に加熱され、約529°Cとなって1次主冷却系中間熱交換器に入り、その熱を2次主冷却系へ伝える。1次主冷却系中間熱交換器で熱交換により冷却され約397°Cになった1次冷却材は、再び1次主冷却系循環ポンプに戻って同様のサイクルを繰り返し、炉心から2次主冷却系へ熱の伝達を行う。除熱容量は1ループあたり約238 MWtである。

原子炉停止時には、原子炉で発生する熱は、1次主冷却系、2次主冷却系の一部、補助冷却設備を経て、補助冷却設備空気冷却器から大気へ放散される。なお、補助冷却設備は2次主冷却系3系統に各々設置し、事故時においても原子炉がトリップされた後は1系統のみの運転で原子炉停止時の崩壊熱、その

表 4-1 原子炉冷却系主要目

1次主冷却系	
ループ数	3
容量	約714MWt
流量	約 15.3×10^6 kg/h (3ループ分)
運転温度(炉入口/出口)	約397°C/約529°C
2次主冷却系	
ループ数	3
流量	約 3.7×10^6 kg/h (1ループ分)
運転温度(1HX入口/出口)	約325°C/約505°C
補助冷却設備	
ループ数	3 (2次主冷却系1ループ当り1ループ)
容量	約15MWt (1ループ分)
ナトリウム流量	約 2.3×10^6 kg/h
空気流量	約 3.3×10^5 kg/h
1次ナトリウム補助設備 (オーバーフロー系、純化系、充填ドレン系)	
ループ数	1 (各系統共)
オーバーフロー系汲上流量	約 5×10^4 kg/h
純化流量	約 1×10^4 kg/h
冷却材純度	約10ppm O ₂
2次ナトリウム補助設備 (オーバーフロー系、純化系、充填ドレン系)	
ループ数	3 (2次主冷却系1ループ当り各系統共1ループ)
オーバーフロー流量	約 1×10^4 kg/h
純化流量	約 1×10^4 kg/h
冷却材純度	約10ppm O ₂
1次アルゴンガス系	
ループ数	1 (再循環式)
カバーガス圧力	約0.55kg/cm ² G
2次アルゴンガス系	
ループ数	1 (開ループ式)
カバーガス圧力	約1kg/cm ² G
水・蒸気系	
ループ数	1(蒸気発生器廻りのみ3ループ)
容量	約280MW
タービン入口温度	約483°C
タービン入口圧力	約127kg/cm ² G
蒸発器給水温度	約240°C
水・蒸気流量	約 3.8×10^5 kg/h

他の残留熱を除去することが可能な設備としている。

1次主冷却系の各機器は万一の冷却材漏えいをナトリウム漏えい検出器により検出できる。更に1次冷却材の循環に支障をきたすことなく安全に炉心の冷却が行えるよう設定された最低レベル以上に機器が設置されており、それ以下の機器はすべて空間容積が適切に制限されたガードベッセル内に収納されている。

液面制御は原子炉容器からのオーバーフローと、原子炉容器へナトリウムを汲み上げる方式である。1次冷却材の自由液面は不活性なアルゴンガスで覆われている。又、1次冷却材に接する原子炉容器、1次主冷却系中間熱交換器、1次主冷却系循環ポンプ、

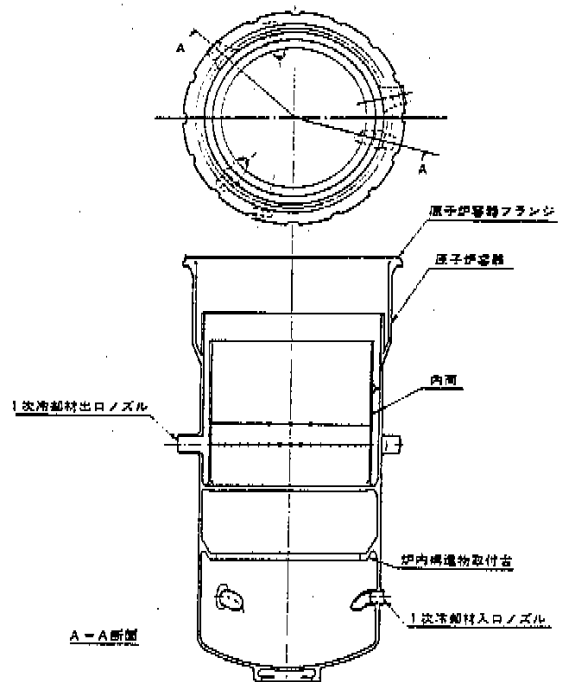


図 4-2 原子炉容器構造説明図

配管及び弁類等は、高温強度やナトリウムとの共存性が優れているステンレス鋼を使用している。

4.4 1次主冷却系中間熱交換器

1次主冷却系中間熱交換器は図4-4に示すようなたて型無液面平行向流型の熱交換器である。1次冷却材は胴部側面の1次側ナトリウム入口ノズルから流入し、外側シュラウド上部に設けられている入口孔から外側シュラウド内へ流入し、伝熱管の間を下降し下部に設けられている1次側ナトリウム出口ノズルから流出する。2次冷却材は上端中央2次側ナトリウム入口ノズルから下降管を通過して下部プレナムに入り、直管形伝熱管内を上昇し上部プレナムを通過して上端の2次側ナトリウム出口ノズルから流出する構造である。

4.5 1次主冷却系循環ポンプ

各1次主冷却系ループにはナトリウムを循環させるための循環ポンプがそれぞれ1基ずつ設けられる。1次主冷却系循環ポンプは機械式たて型自由液面遠心式ポンプであり、ポンプ本体と本体を収めた外ケーシングから成り、メンテナンス時には配管に溶接された外ケーシングからポンプ本体のみを引き出すことができる。

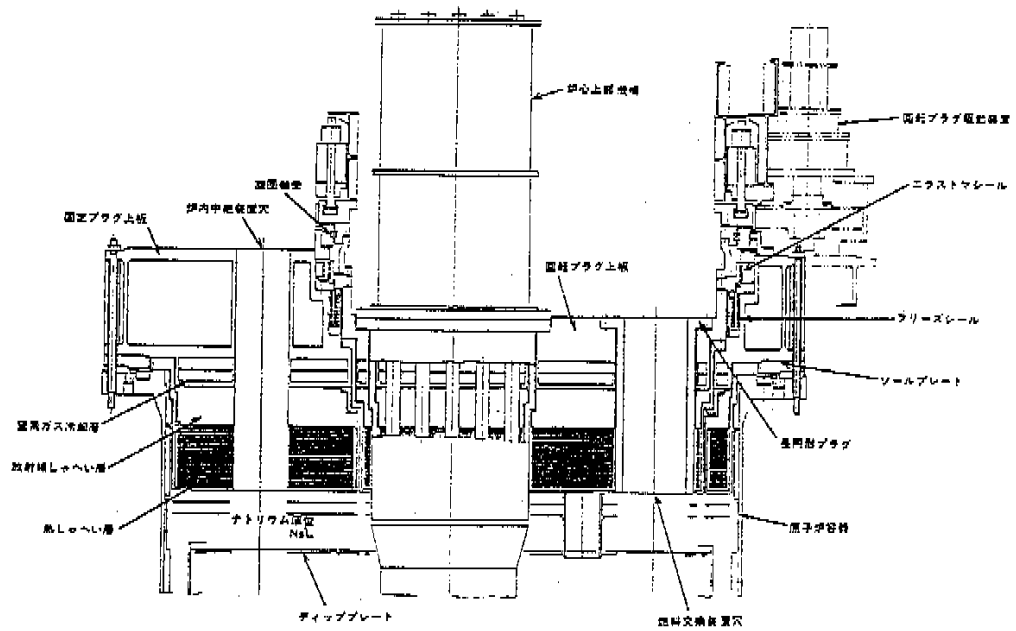


図4-3 遮蔽プラグ構造説明図

1次主冷却系中間熱交換器からポンプに流入する1次冷却材は、外ケーシング下部の吸込口よりポンプに入り、インペラによって加圧され、吐出口より流出する。高圧ナトリウムの一部は、ポンプ本体下部のナトリウム静圧軸受に供給される。

静圧軸受から流出したナトリウムは、ポンプ内ナトリウム液位を一定に保つために設けられたオーバフローノズルより流出し、オーバフロラムを経て配管に戻る。ナトリウム液面はアルゴンガスで覆われ、アルゴンガスと外気は軸封装置でシールされている。ポンプ上部には軸継手を介して駆動用主モータ及びボニーモータが取り付けられる。

4.6 2次主冷却系

2次主冷却系は1次主冷却系と同様3ループで構成される。2次主冷却系の冷却材は定格出力時1次主冷却系中間熱交換器上部中央ダウンカムより約325℃で流入し、下部プレナムで反転した後管側を上昇し、上部より約505℃で流出する。この冷却材は過熱器、蒸発器を通り、2次主冷却系循環ポンプを経て約325℃で1次主冷却系中間熱交換器に戻る。1次主冷却系中間熱交換器の1次側と2次側の境界では2次側を高圧とし、仮りに中間熱交換器伝熱管に破損が生じたとしても1次側の放射性ナトリウムが2次側に漏えいするのを抑制するようになっている。

蒸気発生器内で水漏えいが発生した場合には、ナトリウム・水反応を生じ、2次主冷却系内圧力上昇を生じるが、この圧力上昇を抑制し、又、放出される水素ガスに同伴されるナトリウム及び反応生成物を分離回収し、外気への放出を抑制するためにナトリウム・水反応生成物収納設備を、水漏えいを早期に検出するために水漏えい検出設備をそれぞれ設けている。

小規模水漏えい時には水漏えい検出設備により水漏えいが検出され、プラント停止操作が行われる。大規模水漏えい時には圧力上昇により圧力開放板が自動的に破れ、収納容器に圧力を開放し、又、反応生成物及び同伴ナトリウムを導き気液分離し水素を燃焼処理し大気へ放出させる。この場合、圧力開放板の開放信号により蒸気発生器の水・蒸気側の内部保水・蒸気ブロー等のプラント自動停止操作が行われ、ナトリウム・水反応現象は停止される。

4.7 蒸気発生器

蒸気発生器は2次主冷却系の各ループに設置し、ヘリカルコイル貫流分離型の水・蒸気とナトリウムの熱交換器である蒸発器、過熱器各1基を各ループに設けている。蒸発器は図4-5に示すヘリカルコイル形伝熱管を内蔵したシェルアンドチューブ形熱交換器で、加熱体であるナトリウムは上部胴体のナ

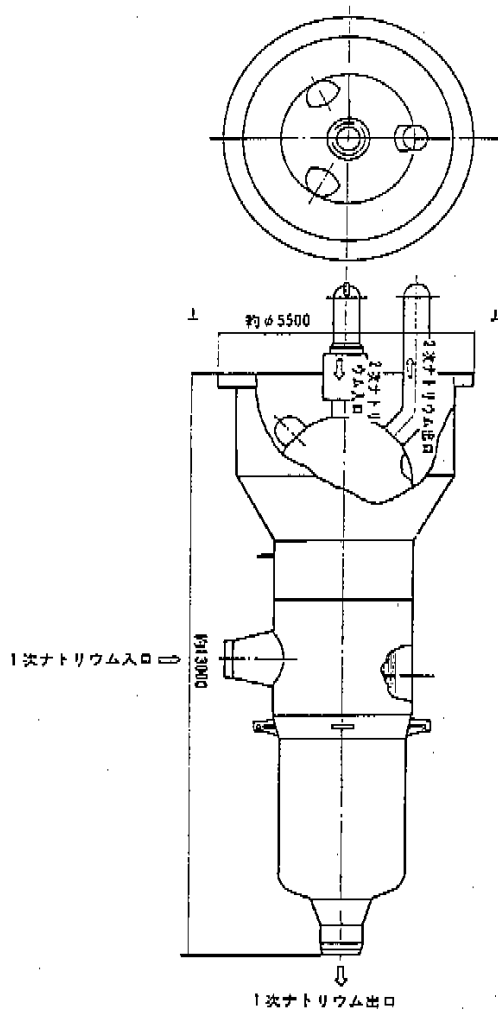


図4-4 1次主冷却系中間熱交換器

トリウム入口ノズルから導入され、伝熱管の間を下降し下端のナトリウム出口ノズルから流出する。

被加熱体である水は給水入口ノズルから導入された後下降管内を降下し、その後方向を変えヘリカルコイル形伝熱管内を上昇しながら加熱され、蒸気となって蒸気出口ノズルに達する。過熱器はその基本構造及び流体の流れは蒸発器とはほぼ同一である。ただし伝熱面積の違いによりヘリカルコイル部の高さ等が異なる。過熱器の場合、被加熱体は蒸発器から出た蒸気であり、過熱器内に導入された蒸気は更に加熱され、過熱蒸気となってタービンへ送られる。蒸気発生器内の液位は蒸発器についてはナトリウムのオーバーフローにより、又過熱器についてはカバーガス圧力により制御される。

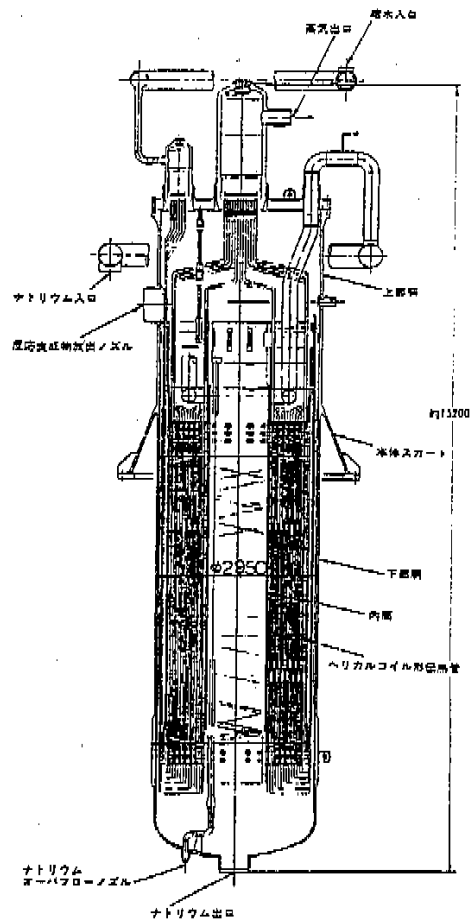


図4-5 蒸発器構造説明図

4.8 2次主冷却系循環ポンプ

2次主冷却系循環ポンプは図4-6に示すように機械式たて型自由液面遠心式ポンプで、各グループに1基ずつ設けられる。蒸発器を出たナトリウムは吸込ノズルからポンプに入り、インペラ、ディフューザを通過した後、ケーシング側面の吐出ノズルから流出する。ナトリウムの一部はポンプ下部のナトリウム静圧軸受に供給される。静圧軸受から流出したナトリウムはオーバーフローノズルより流出しオーバーフローラムを経て配管に戻る。ポンプ内ナトリウムの自由液面はアルゴンガスで覆われており、このアルゴンガスは上部にある軸封装置でシールされている。ポンプ本体は保守点検が容易にできるように外側ケーシングから抜き出すことができる。ポンプ上部には軸を介して駆動用主モータ及びポンプ用モータが取

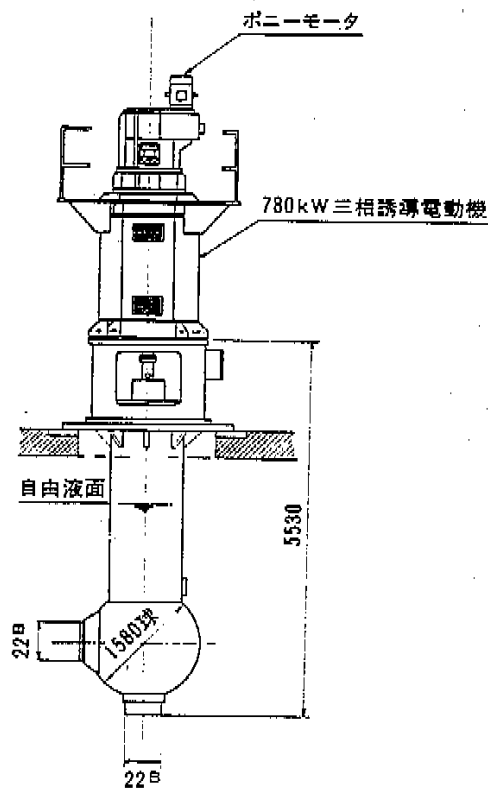


図4-6 2次冷却系循環ポンプ

り付けられる。補助冷却設備運転時には補助冷却設備の冷却能力を確保するため、ギヤ及びクラッチを介してポニーモータにより非常用電源で低速運転し、所定の流量を確保できる構成としている。

4.9 タービン及び付属設備

タービン及び付属設備は、蒸気タービン並びにその付属装置、主蒸気系設備、復水設備、給水設備及びその他の必要な設備で構成される。

2台のタービン駆動給水ポンプにより蒸気発生器に供給された給水は、蒸発器、過熱器を流る間に2次冷却材と熱交換を行って過熱蒸気になり、主蒸気止め弁、蒸気加減弁を通り高圧タービンに入る。高圧タービンを出た蒸気は、2組の複流低圧タービンに入り、復水器に排水される。復水器へ排出された蒸気は、ここで凝縮され、復水ポンプによって給水ラインに送り込まれる。給水は3段の低圧給水加熱器及び脱気器、そして2段の高圧給水加熱器を通り、加熱されて蒸発器に送られる。

タービンは串形3気筒4流排気非再熱式復水タービンで、使用条件は主蒸気止め弁前での蒸気圧力が約 $127\text{kg/cm}^2\text{g}$ 、温度が約 483°C 、定格出力時の排気真空度は約 722mmHg である。