

原子炉の構造

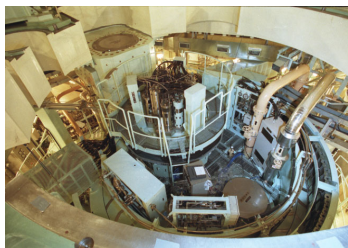
「もんじゅ」の原子炉は、原子炉容器、遮へいプラグ、炉心上部機構、炉内構造物、炉心構成要素、ガードベッセルなどから構成されています。

原子炉容器はステンレス鋼製の円筒たて型容器で、直径が約7m、高さは約18mです。その周囲にはガードベッセルが設置されています。1次系ナトリウムの入口配管は原子炉容器の下部側面3方向に、出口配管は上部側面3方向にそれぞれ取り付けられており、上方部には炉心からの放射線と熱を遮へいする遮へいプラグが設置されています。この遮へいプラグは、固定プラグと、固定プラグの

中心から偏心した位置に回転の中心をもつ回転プラグからなり、固定プラグには炉内中継装置駆動装置などが、回転プラグには制御棒駆動機構、燃料交換装置などが搭載されますが、原子炉を運転する時は、炉内中継装置駆動装置、燃料交換装置、は取り外されています。

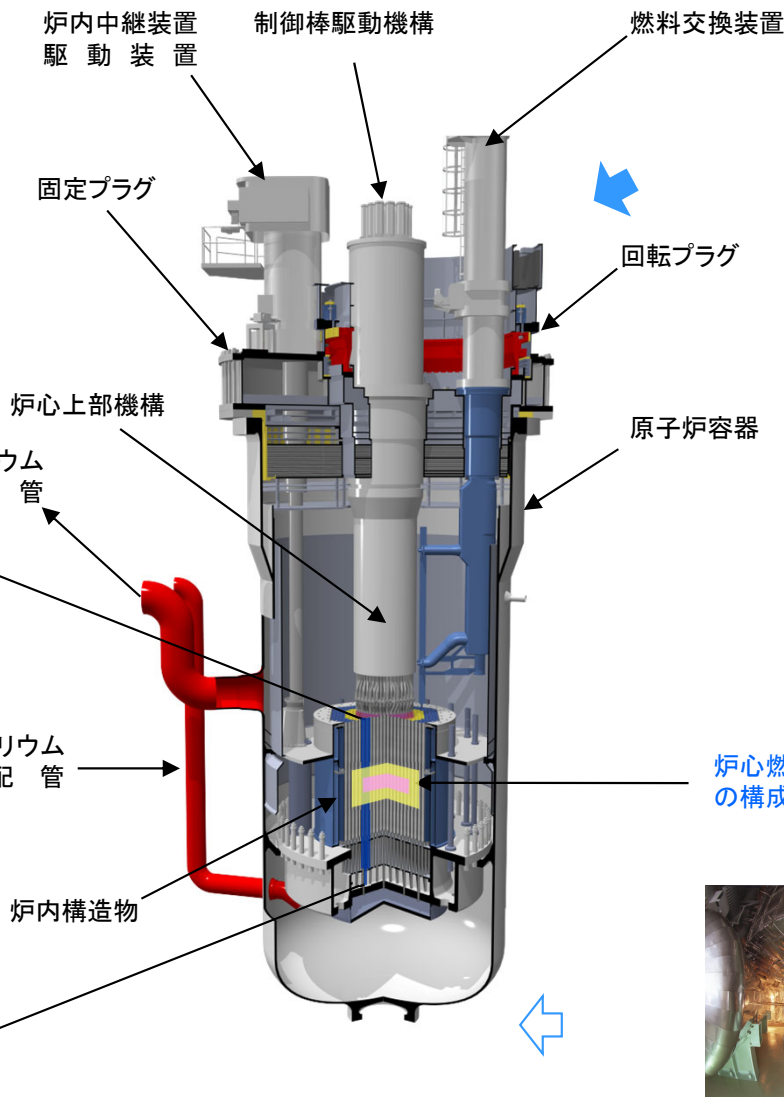
原子炉容器の内部には、燃料集合体、制御棒集合体、中性子しゃへい体などの炉心構成要素を支持し、1次系ナトリウムを燃料集合体に流れるように導く炉内構造物が設置されており、そこに炉心構成要素が715体、隙間無く装荷されています。

● 原子炉本体



遮へいプラグ上部(← 視)

燃料交換装置、炉内中継装置
駆動装置取り外し状態



原子炉容器

炉心燃料、ブランケット燃料
の構成イメージ図



原子炉容器底部(← 視)

炉心構成要素(図は燃料集合体)

炉心・燃料の構成

「もんじゅ」の炉心部は、198体の炉心燃料集合体と、その間に配置されている19体の制御棒集合体、及びこれらの周囲を取り囲む172体のブランケット燃料集合体などによって構成されています。

炉心燃料集合体には、炉心の内側に配置される内側炉心燃料集合体と、炉心の外側に配置される外側炉心燃料集合体の2種類があり、外側炉心燃料集合体はプルトニウムの富化度(含有量)を高くして、炉心の出力の平坦化を図っています。

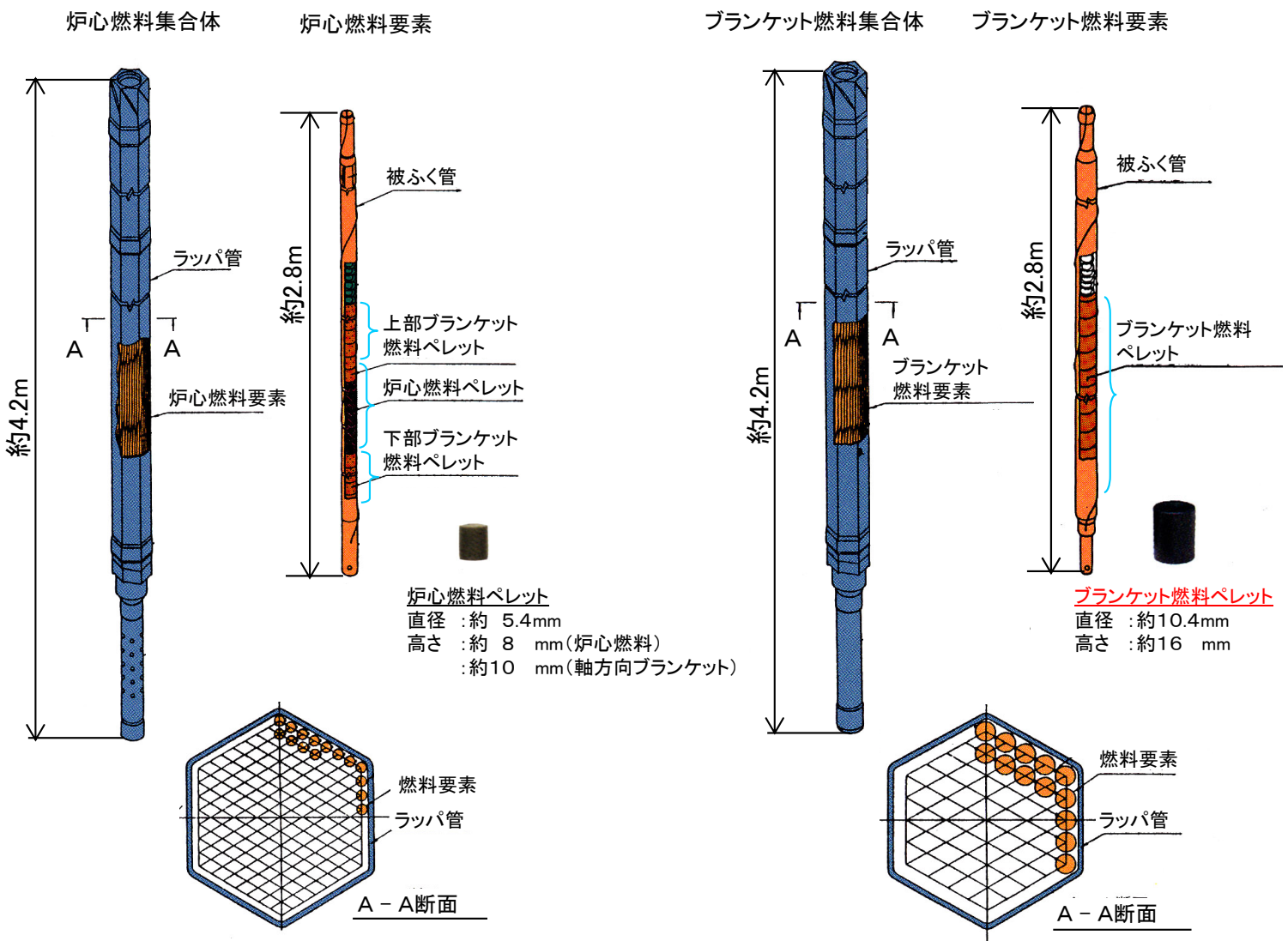
炉心燃料集合体の周囲にブランケット燃料集合体を配置することで、炉心燃料は上下・周囲ともブランケット燃料に取り囲まれた形となります。主に、

炉心燃料の部分で核分裂反応により熱が発生し、ブランケット燃料の部分では、ウラン238がプルトニウム239に変換されます。

●炉心燃料集合体

炉心燃料集合体は、ラッパ管と呼ばれる六角形の管の中に、169本の炉心燃料要素が納められた構造になっています。炉心燃料要素は、下部から順にブランケット燃料ペレットを約0.35m、炉心燃料ペレットを約0.93m、そしてブランケット燃料ペレットを約0.3m積み重ね、外径約6.5mm、長さ約2.8mのステンレス鋼管(被ふく管)の中に封入したものです。炉心燃料ペレットは、プルトニウムとウランの混合

●燃料集合体の構造

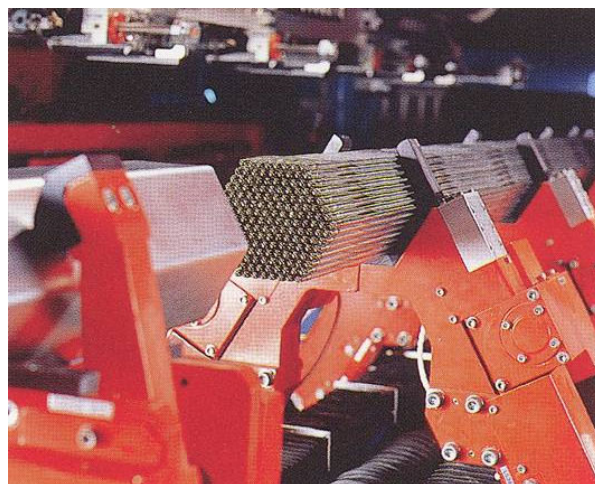


酸化物を円柱状に焼結したもので、ブランケット燃料ペレットは劣化ウラン(主にウラン238)の酸化物を円柱状に焼結したものです。

炉心燃料集合体は、原子力機構の東海事業所で、厳重な品質管理のもとに製造されます。

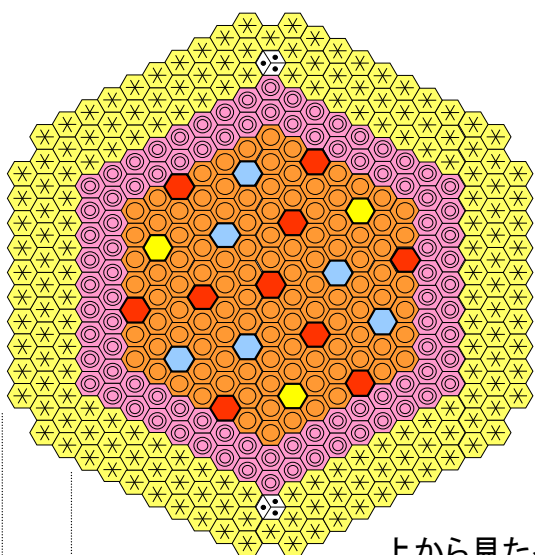
●ブランケット燃料集合体

ブランケット燃料集合体は、炉心燃料集合体の場合と同じ六角形のラップ管の中に、61本のブランケット燃料要素が納められた構造になっています。ブランケット燃料要素は、外径約12mm、長さ約2.8mのステンレス鋼管(被ふく管)の中に、ブランケット燃料ペレットを封入したものです。

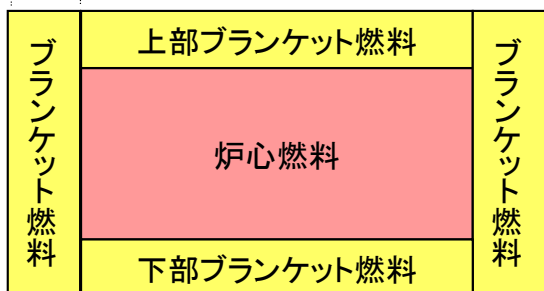


●東海事業所で組立中の炉心燃料集合体

●「もんじゅ」炉心構成



上から見たイメージ



炉心燃料、ブランケット燃料の構成イメージ

炉心構成要素		記号	数量
炉心燃料集合体	内側炉心燃料集合体		108
	外側炉心燃料集合体		90
ブランケット燃料集合体			172
制御棒集合体	粗調整棒集合体		10
	微調整棒集合体		3
	後備炉停止棒集合体		6
中性子源集合体			2

さらに、ブランケット燃料集合体を取り囲むように、中性子しゃへい体、サーベイランス集合体が324体設置されている。

制御棒

原子炉の起動、停止、出力の調整は、制御棒によって行います。制御棒には微調整棒(3本)、粗調整棒(10本)及び後備炉停止棒(6本)があります。

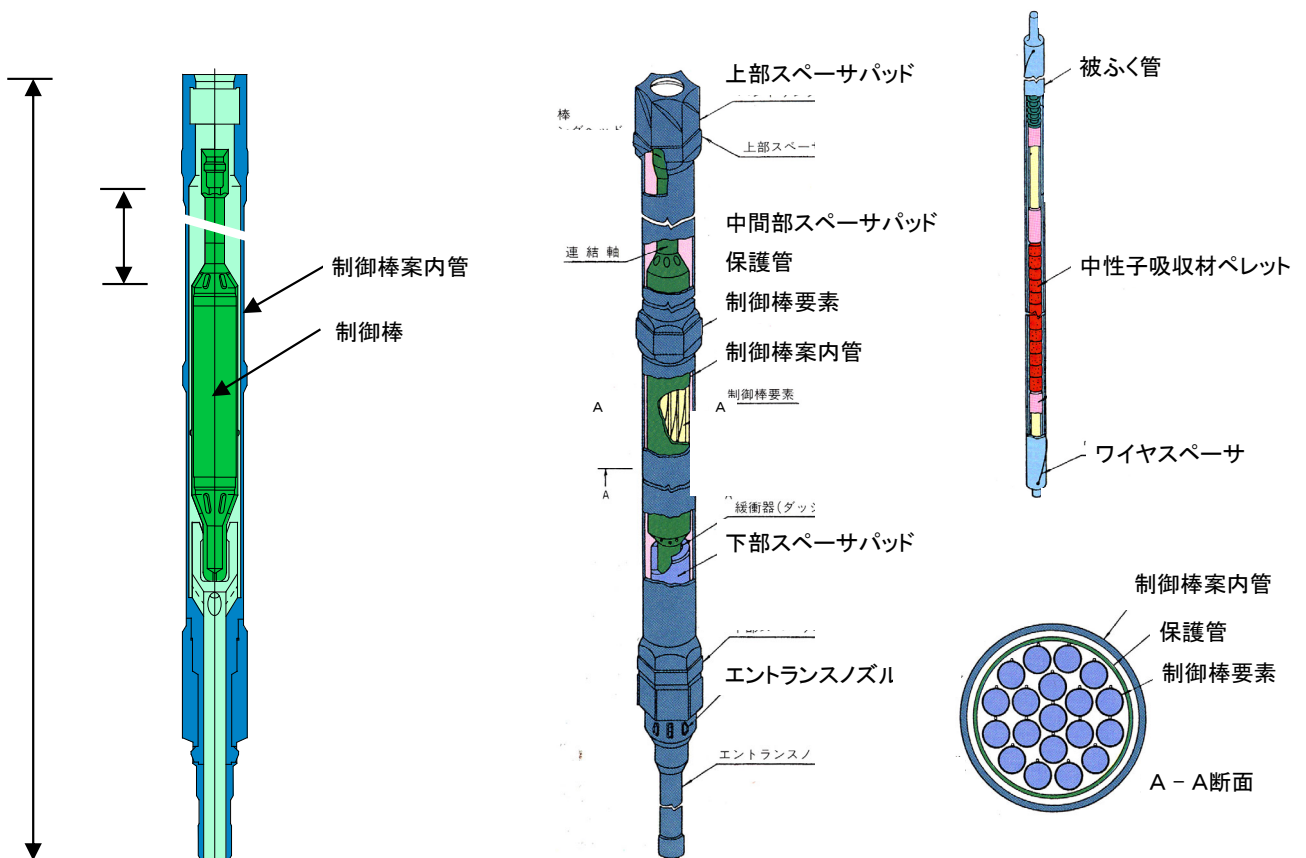
制御棒は、制御棒案内管という“さや”の中に収納されており、それを制御棒集合体といいます。制御棒集合体の上部、中間部、下部のスペーサパッド部は、燃料集合体と同じ六角形をしており、制御棒集合体は燃料集合体の間にしっかりと配置されます。原子炉を運転する時は、内部の制御棒だけを引き抜き、反対に停止する時は挿入します。

制御棒は、円筒形の保護管の中に、19本の制御棒要素が納められた構造になっています。制御棒要素は、外径約17mmのステンレス鋼管(被ふく

管)の中に、炭化ホウ素のペレット(吸収材ペレット)を約0.8~0.9m積み重ねて入れたものです。ホウ素には中性子を吸収する性質があるので、炉心に制御棒を挿入すると、中性子を吸収して、核分裂連鎖反応を減少させるため、原子炉の出力が低下し、さらに挿入すると原子炉が停止します。制御棒を引き抜くと、中性子の吸収が減るので、核分裂連鎖反応が増え、原子炉の出力が上昇します。制御棒は制御棒駆動機構によって駆動されます。通常、制御棒は、電磁石によって駆動部に保持されていますが、緊急時には19本全ての制御棒駆動機構の電磁石の電源を切って、制御棒を重力で落下、挿入させます。その落下を一層確実なものにするために、ガスの圧力や、バネの力を利用した加速

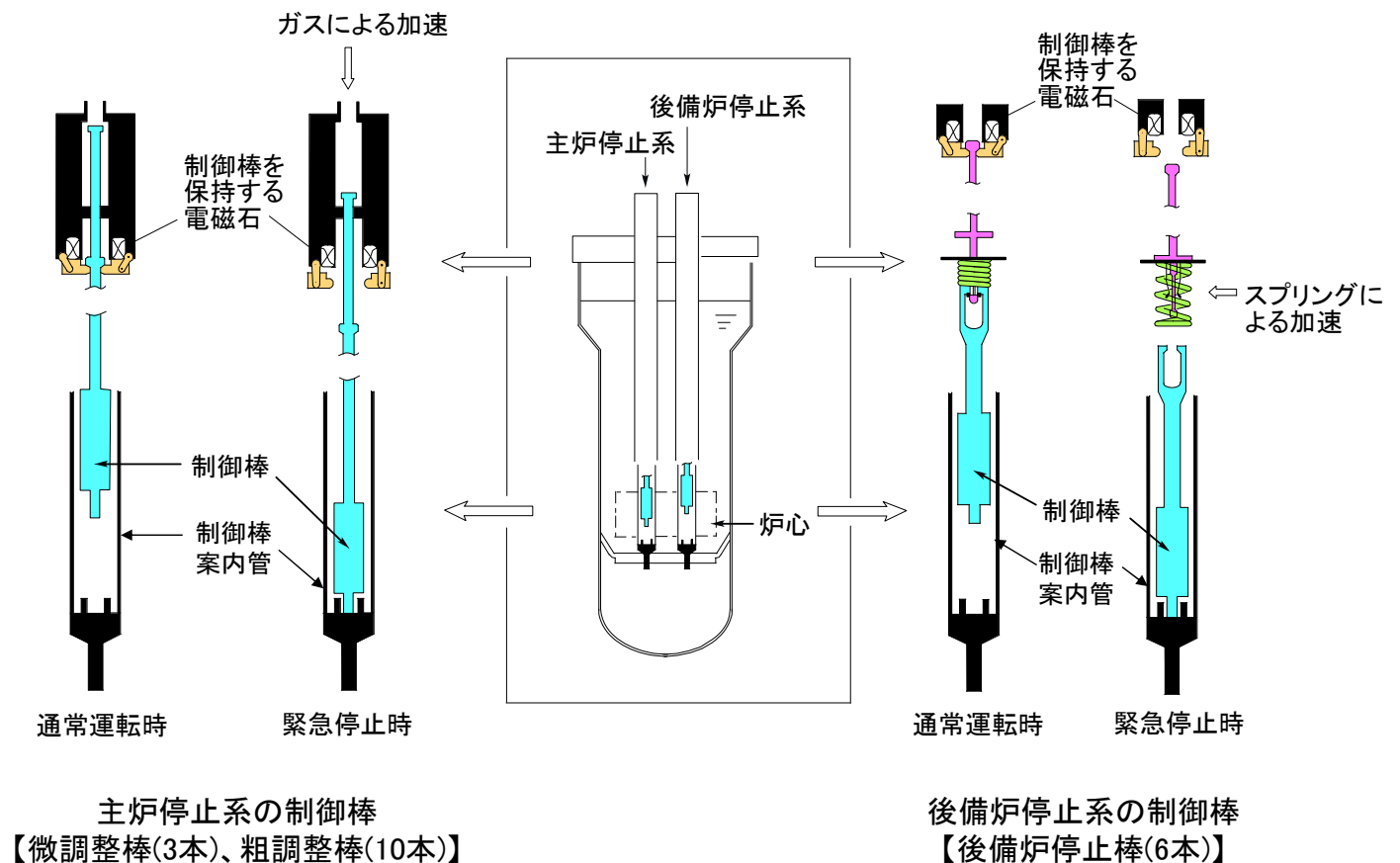
● 制御棒集合体の構造

(微調整棒集合体の例)



機構が設置されています。制御棒は約1.2秒で入り、原子炉は停止します。制御棒は、案内管の内部にあるので、確実に挿入することができます。また、万一、微調整棒と粗調整棒が、全く動かなくなった場合でも、後備炉停止棒だけで、十分に原子炉を停止することができるように設計しています。微調整棒と粗調整棒を主炉停止系の制御棒、後備炉停止棒を後備炉停止系の制御棒といますが、この2つのシステムの制御棒駆動機構は、両方のシステムの制御棒が動かなくなることがないように、共通部分をなくし、完全に独立させています。また、構造が同じところで同じ故障が発生し、両方のシステムの制御棒が動かなくなることがないように、異なった設計になっています。

● 制御棒の動き



ナトリウム冷却系設備

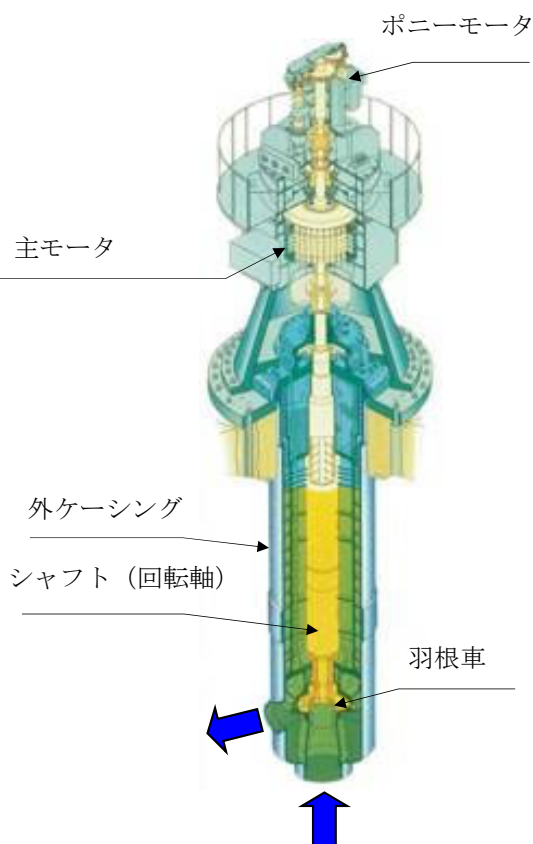
●1次冷却系

1次冷却系は、原子炉と3つの系統(ループ)からなっています。1次系ナトリウムは、1次主循環ポンプにより循環しており、原子炉容器から約529°Cで出て、中間熱交換器で2次系ナトリウムに熱を伝え、約397°Cで原子炉容器の下部に入ります。

●1次主循環ポンプ

1次主循環ポンプは、**機械式たて型自由液面遠心式ポンプ**で、ポンプ本体と本体を収納した外ケーシングから構成されています。1次系ナトリウムは、外ケーシング下部の吸い込み口よりポンプに入り、モータで回転するインペラにより加圧され、外ケーシング側面の吐出口より出ていきます。

● 1次主循環ポンプ



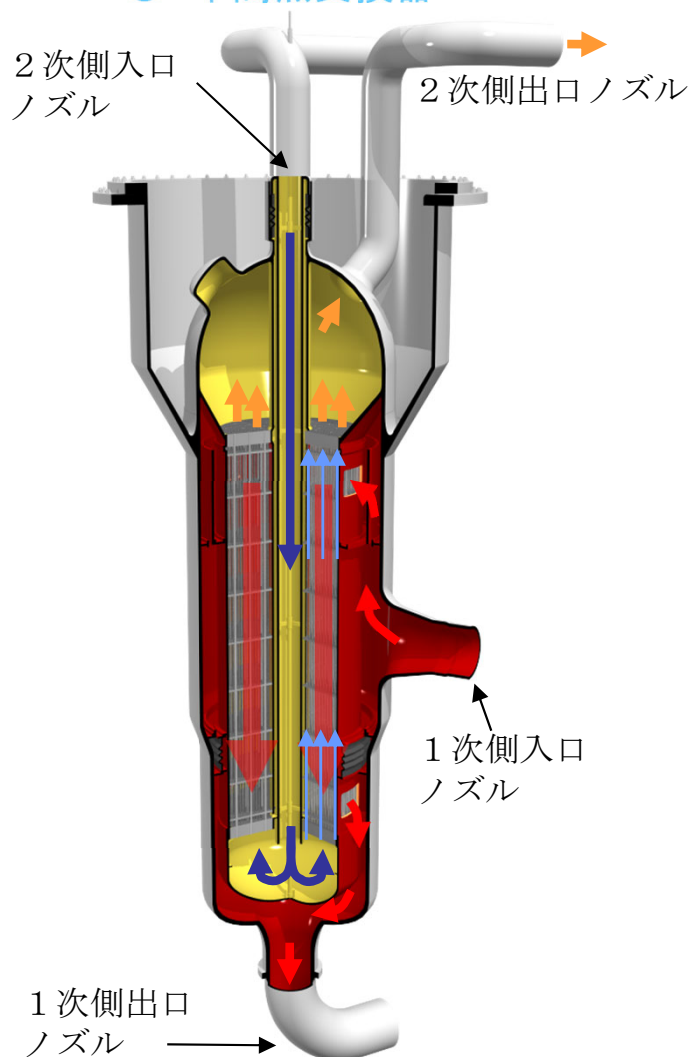
●中間熱交換器

中間熱交換器は、**たて型無液面並行向流型**の熱交換器で、内部に約3200本の伝熱管が設置されています。1次系ナトリウムは中間熱交換器の側面から入り、伝熱管の外側を流れ、下部から出ていきます。2次系ナトリウムは、中間熱交換器の上部から入り、中間熱交換器の中心部を下向きに流れ、一番下で反転したあと、今度は伝熱管の内側を上向きに流れ、中間熱交換器の上部から出ていきます。

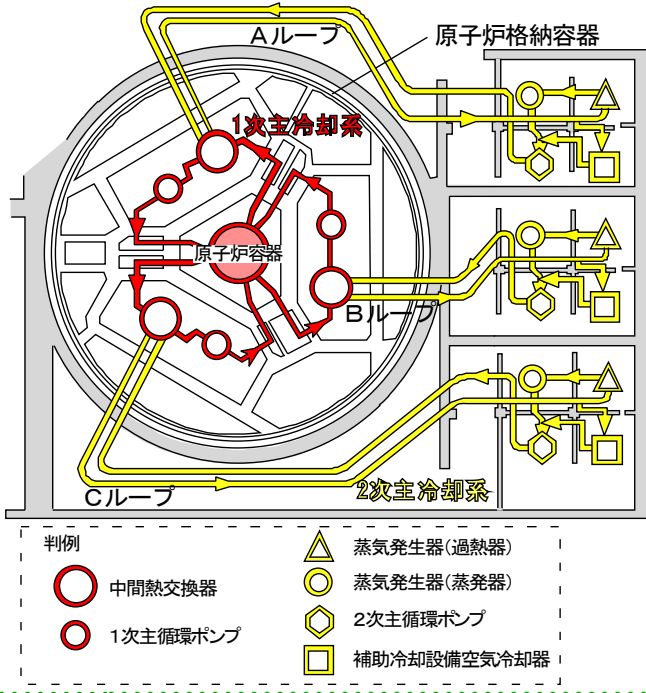
●2次冷却系

2次冷却系も、それぞれ1次冷却系に対応する3つの系統(ループ)からなっています。2次系ナトリウムは、2次主循環ポンプにより循環しており、中間熱交換器に325°Cで入り、約505°Cで出ていきます。そして、蒸気発生器で水・蒸気に熱を伝え、中間熱交換器に戻ります。

● 中間熱交換器

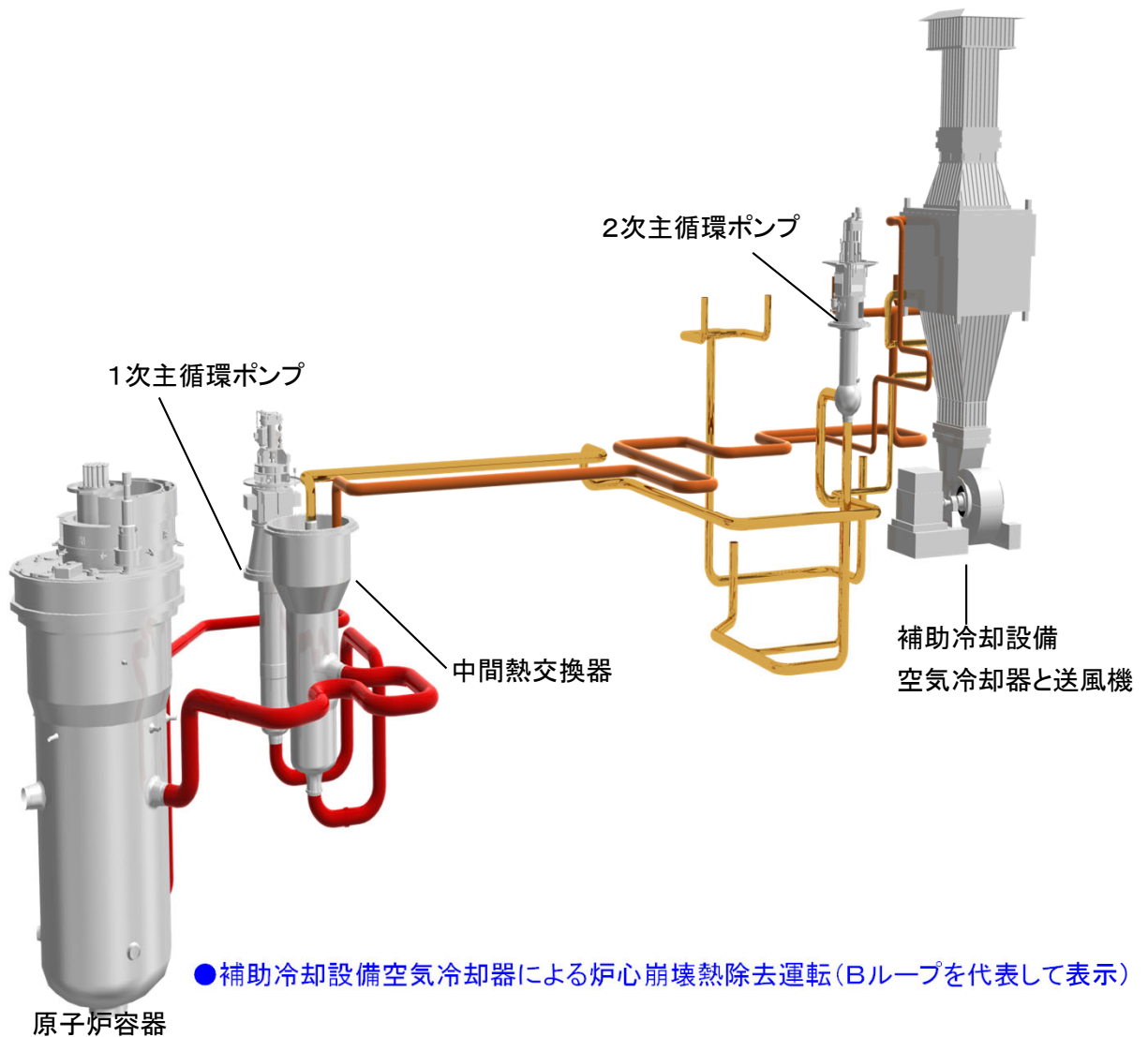


● ナトリウム冷却系



● 補助冷却設備

2次冷却系の蒸気発生器と並列した位置に、補助冷却設備があります。これは、原子炉停止時に炉心の崩壊熱(残留熱)を除去するために用いられます。原子炉が停止すると、1次、2次主循環ポンプは低流量運転に変わり、炉心の崩壊熱は中間熱交換器を介して2次主冷却系に伝えられます。2次主冷却系では、それまで蒸気発生器に流れていた2次系ナトリウムを補助冷却設備に流れるように切り替えます。補助冷却設備には空気冷却器と送風機が設置されており、そこで空気により崩壊熱が冷却されます。補助冷却設備はA、B、Cの3系統全てに設置されており、1つの系統でも十分崩壊熱を除去することができます。起こるとは考えられないことですが、1次、2次主循環ポンプが停止し、送風器も停止した場合でも、3系統の自然循環で崩壊熱を冷やすことができます。



蒸気発生器

タービンを回す蒸気をつくるのが、蒸気発生器です。蒸気発生器は、2次冷却系の各ループに設置され、蒸発器および過熱器の各1基から構成されています。

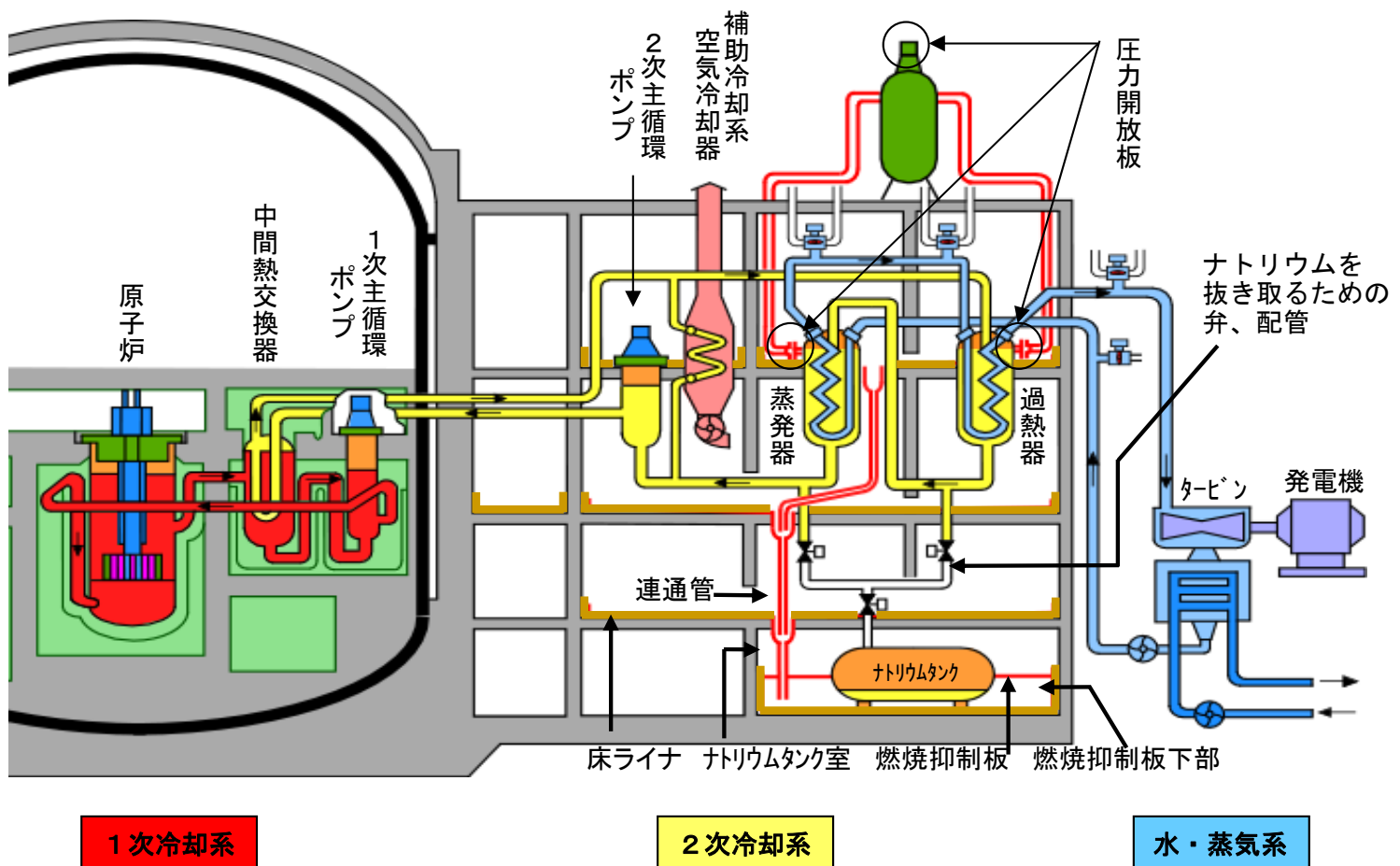
蒸発器には外径約31.8mm、肉厚約3.8mmのらせん状の伝熱管が約140本設置されており、伝熱管の中を水が、伝熱管の外をナトリウムが流れます。伝熱管は、応力腐食割れに強いクロムモリブデン鋼製です。

過熱器には外径約31.8mm、肉厚約3.5mmのらせん状の伝熱管が約150本設置されており、伝熱管の中を蒸気が、伝熱管の外をナトリウムが流れ

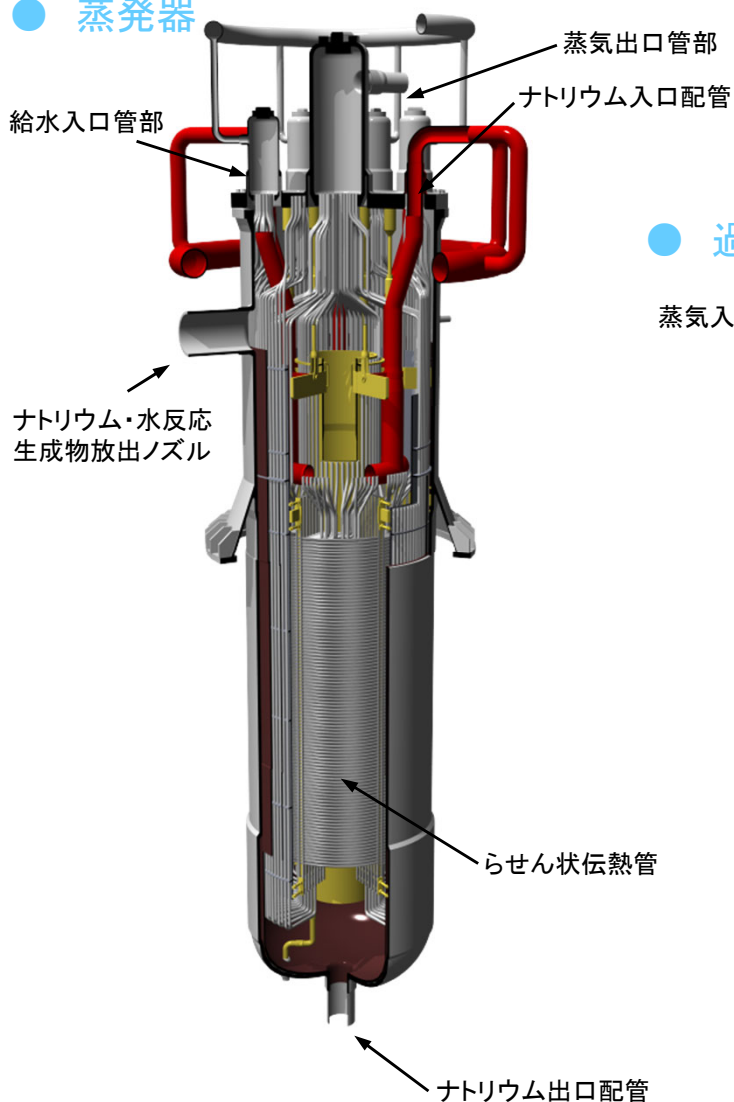
ます。伝熱管は、高温強度に優れたステンレス製です。

約500°Cのナトリウムで過熱するので、圧力127 kg/cm²g、温度483°Cの、火力発電所なみの高温・高圧蒸気でタービンを回すことができます。

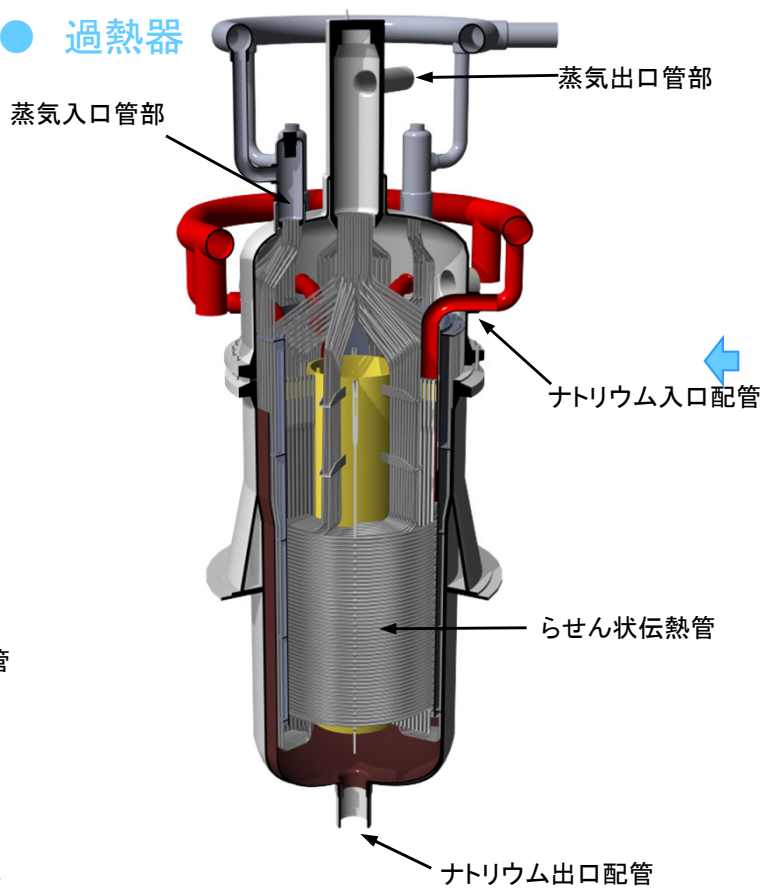
● 冷却系配置



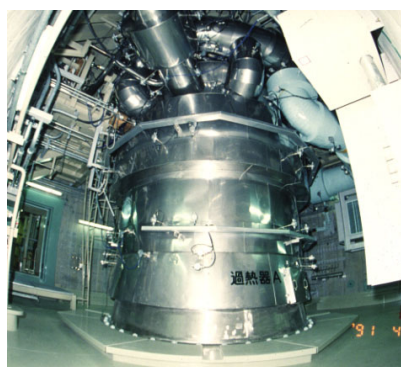
● 蒸発器



● 過熱器

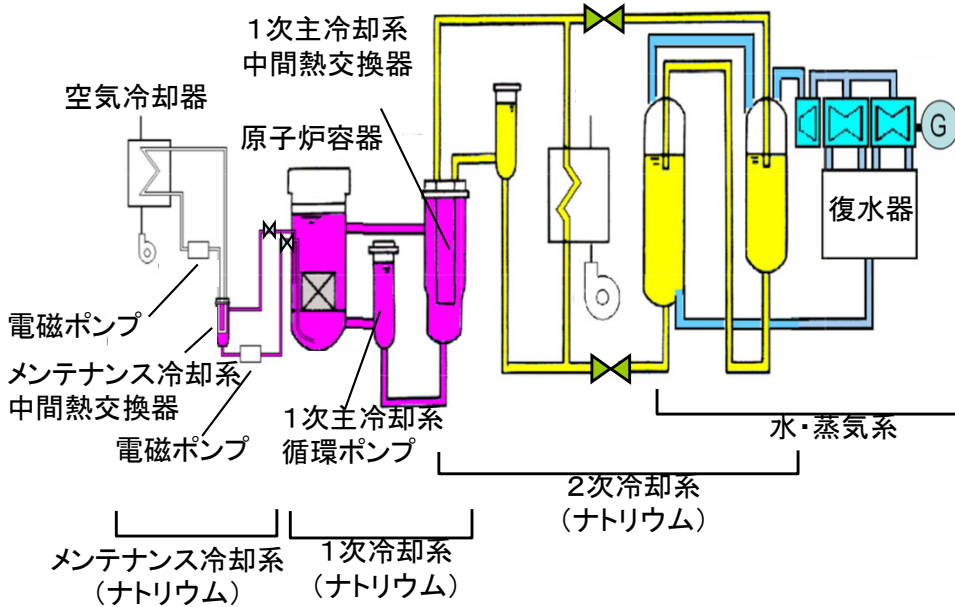


主要目	蒸発器	過熱器
高さ	約15m	約12m
胴部外径	約 3m	約 3m
伝熱管数	140本/基	147本/基
伝熱管外径	31.8mm	31.8mm
伝熱管肉厚	3.8mm	3.5mm
伝熱管長さ	約84m	約46m
主要材料	クロムモリブデン鋼	ステンレス鋼



● 過熱器上部(← 視)

メンテナンス冷却系

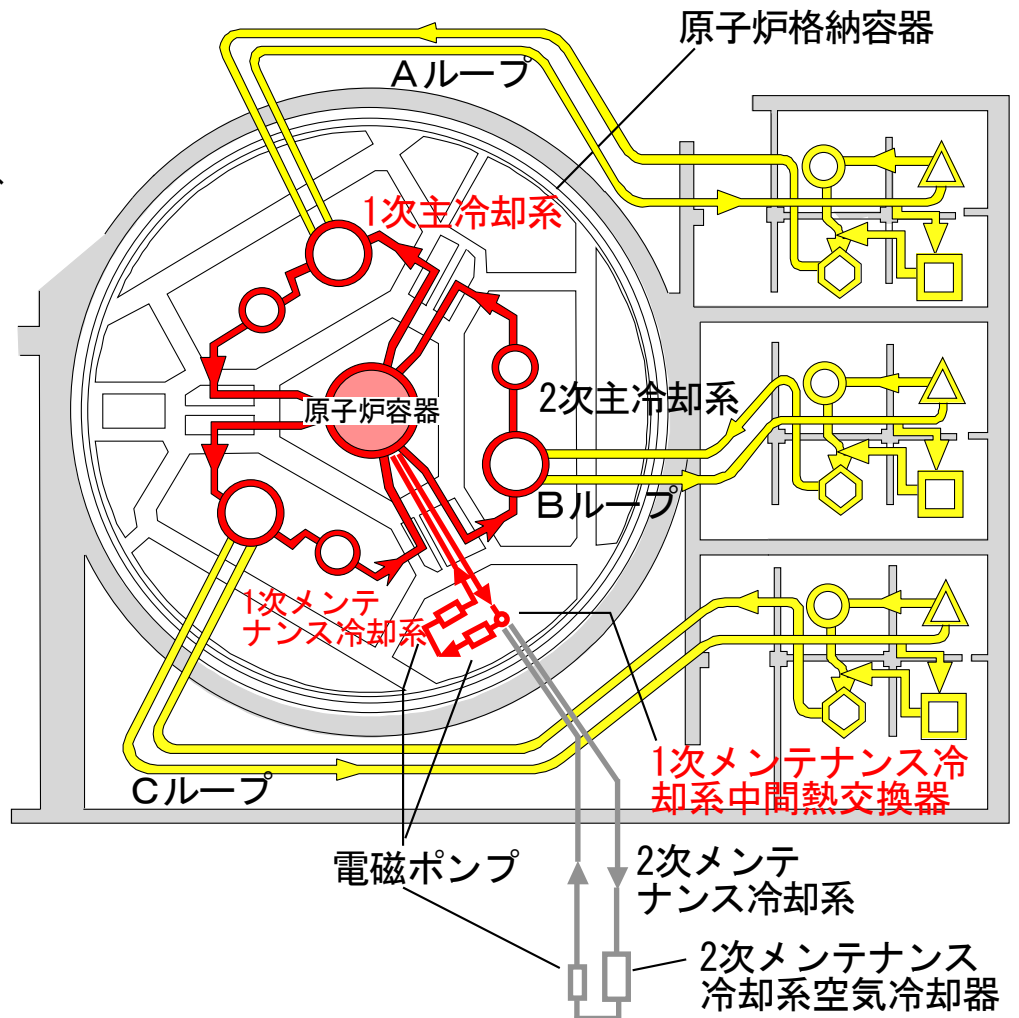


メンテナンス冷却系は、主冷却系統のプラントメンテナンス時に、原則として1次主冷却系のBループと相まって炉心からの崩壊熱を1次ナトリウムにより除去し、これを1次メンテナンス冷却系中間熱交換器を介し、2次メンテナンス冷却系に伝達し、2次メンテナンス冷却系空気冷却器にて大気中に放散することを目的としています。

さらに、プラント運用上、何らかの原因により補助冷却設備による除熱が期待できない場合に、炉心からの崩壊熱を除去することを目的としています。

1次メンテナンス冷却系は、1次メンテナンス冷却系中間熱交換器、循環ポンプ、配管及び原子炉出入口止め弁、逆止弁等で構成されます。原子炉容器を出て、1次メンテナンス冷却系に流入した1次ナトリウムは、1次メンテナンス冷却系中間熱交換器にて2次ナトリウムにより冷却され、2基直列に設置された循環ポンプ(電磁ポンプ)にて加圧された後、再び原子炉容器へ流入し、原子炉の崩壊熱除去を行います。

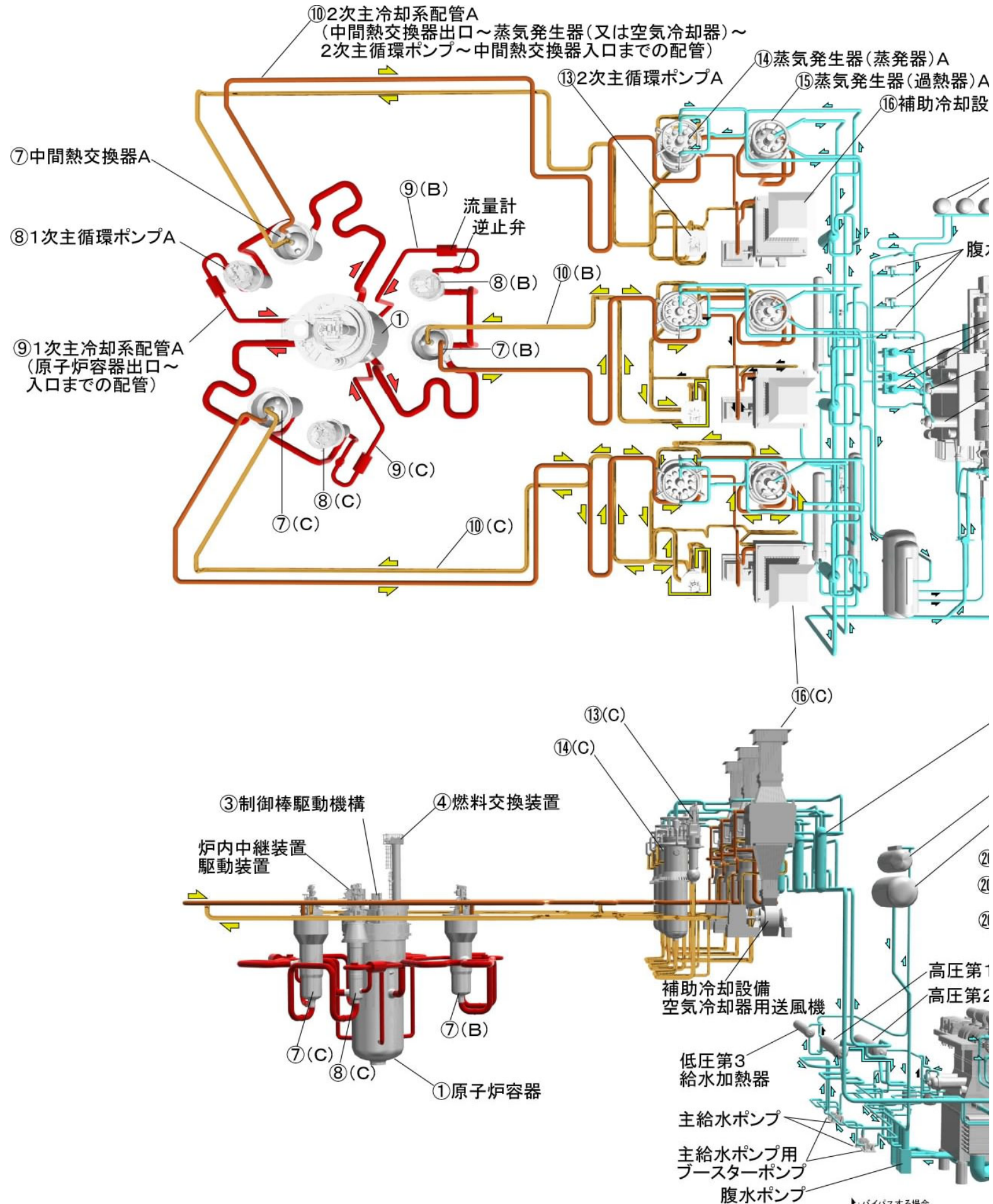
2次メンテナンス冷却系は、1次メンテナンス冷却系中間熱交換器を介して2次メンテナンス冷却系に伝達された炉心崩壊熱を2次メンテナンス冷却系空気冷却器にて大気中に放散することを目的としています。本系統は、空気冷却器、循環ポンプ、空気冷却器用送風機、膨脹タンク、膨脹タンクベーパートラップ、空気ダクト、配管及び弁類等で構成される1ループの熱輸送系であり、1次メンテナンス冷却系中間熱交換器と接続する配管は格納容器内に、その他は原子炉補助建物内に設けられています。1次メンテナ



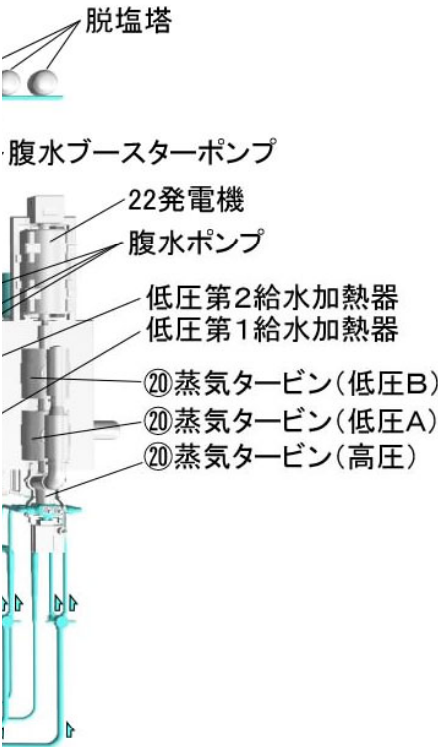
メンテナンス冷却系中間熱交換器で熱交換された2次ナトリウムは、2次メンテナンス冷却系空気冷却器において空気により冷却されます。空気冷却器を出た2次ナト

リウムは、2次メンテナンス冷却系循環ポンプ(電磁ポンプ)により昇圧され、1次メンテナンス冷却系中間熱交換器に戻されます。

もんじゅの上面、側面、背面イメージ



④) A
 設備空気冷却器A



●水色の矢印について

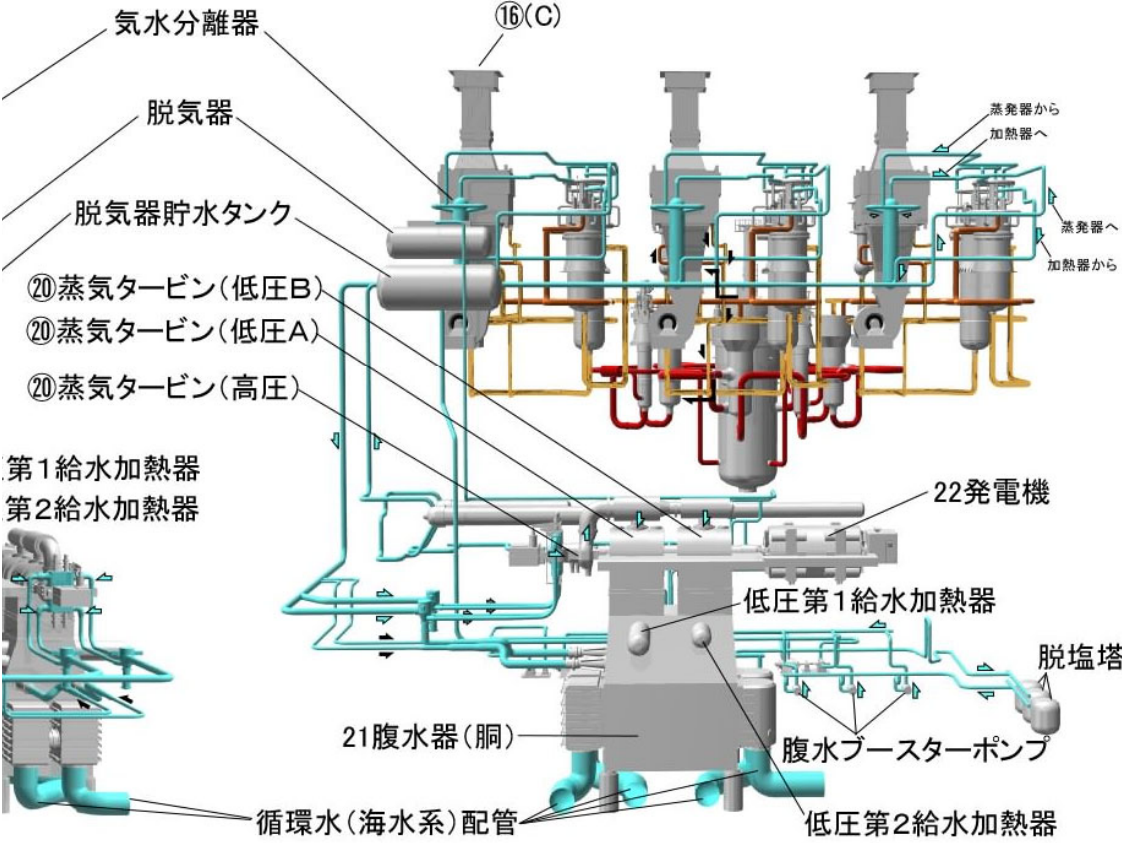
水・蒸気系およびタービン設備を通常運転する場合の水・蒸気の流れを示したものです。

●黒色の矢印について

2次冷却系の運転において、蒸気発生器(蒸発器・過熱器)を通さず、補助冷却設備空気冷却器によって2次系を冷却する場合のナトリウムの流れを示したものです。

●黄色の矢印について

2次冷却系の一般的なナトリウムの流れとして、蒸気発生器(蒸発器・過熱器)にナトリウムを通した場合の流れを示したものです。この場合、補助冷却設備空気冷却器にナトリウムは流れません。



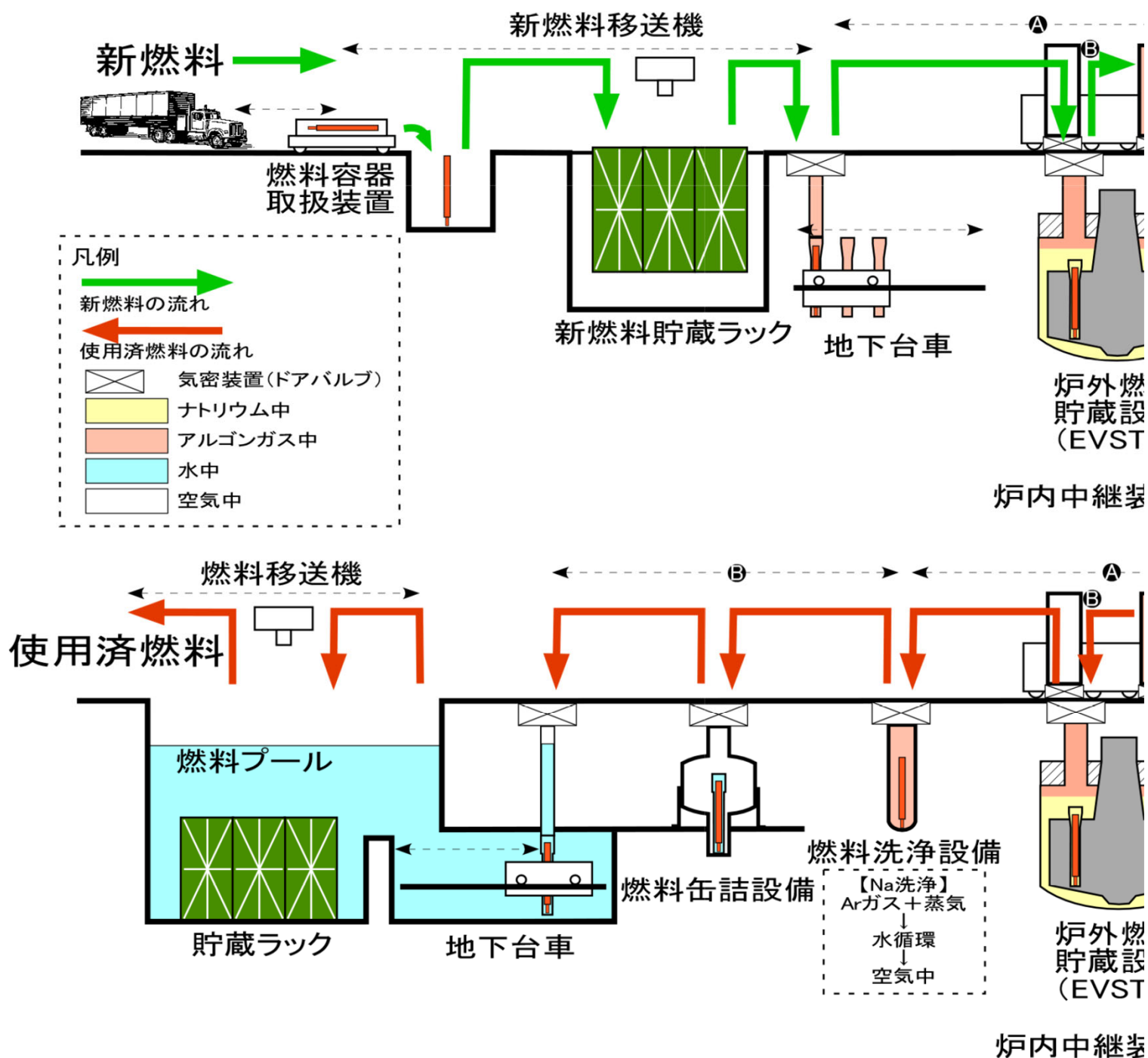
燃料取扱設備

「もんじゅ」の燃料交換は、およそ半年間隔で行い、炉心部にある炉心燃料集合体およびブランケット燃料集合体の、それぞれ約1/4~1/5の本数を交換します。

使用済み燃料は、燃料交換装置によって炉心部から引き抜かれ、燃料出入設備によって炉外燃料

貯蔵槽に運ばれます。炉外燃料貯蔵槽にはナトリウムが満たされており、使用済み燃料は、そこで冷却・貯蔵されます。十分に冷却された後、使用済み燃料は、燃料洗浄設備に運ばれ、そこでナトリウムを洗い流します。

そして、燃料缶詰装置で缶詰にされ、更に水



中台車に引き渡されます。炉外燃料貯蔵槽、燃料洗浄設備、燃料缶詰装置、水中台車間の移送は、燃料出入設備で行われます。水中台車は、使用済み燃料の入った缶詰を、燃料池まで運び、使用済み燃料はそこで、水中貯蔵されます。

新燃料は、新燃料貯蔵室から、地下台車によって燃料出入設備に移送され、炉外燃料貯蔵槽のナトリウム中に一時貯蔵され、使用済み燃料の取り出し方とは逆の経路で、炉心部に装荷されます。

