



「もんじゅ」の建設経験および成果 (その2)

富樫 義則* 池田真輝典 金子 義久
江橋 政明* 長広 義彦 澤崎 嘉次

高速増殖炉もんじゅ建設所
*動力炉開発推進本部

資料番号: 90-1

Reports on Construction Experience of Monju (Part 2)

Yoshinori Togashi Makinori Ikeda Yoshihisa Kaneko
Masaaki Ebashi* Yoshihiko Nagahiro Yoshitsugu Sawazaki
(Monju Construction Office
* Reactor Development Project)

「もんじゅ」の機器据付は、1991年4月に完了し、同年5月より試運転段階に入った。「もんじゅ」は冷却材としてナトリウムを使用しているため、ナトリウムと接触する部材には熱応力緩和の方法がとられている。また材料と溶接方法は高温使用に耐えるものが開発され、主要機器には、SUS304の板や鍛造品が使用されている。据付作業においては据付精度の確保と機器の清潔度管理に特に注意が払われた。ここでは主要機器の設計・製作・据付について報告する。

1. はじめに

高速増殖炉原型炉もんじゅは、福井県敦賀市白木に建設を開始し、平成3年4月末に機器据付けを完了後、試運転段階に入った。試運転では、各系統の機器が設計どおりの性能・機能を有していることを確認する各種試験（総合機能試験、性能試験）が行われ、着々と成果が積み上げられつつある。その中の大きなマイルストーンとして、平成6年4月5日には初臨界を迎えることができた。

建設、試運転を通して得られた貴重な経験や成果は、体系的に報告書にまとめ、社内での評価を経た後、日本原子力学会等で発表している。前回の本技報では「もんじゅ発電所の建設経験および成果(その1)」(1991.3)と題してFBRとしての特徴を有するものの中から、原子炉格納容器、格納容器内部コンクリート構造物、ライニング設備等の設計、製作および施工について報告したが、それに引き続き、本報では「「もんじゅ」の建設経験および成果(その2)」として、機電設備のうち重要な設備についての設計、製作および据付けについて報告する。

今後、引き続き各種試験等で得られた成果について順次報告する予定である。

なお、本格着工以降から据付け完了までの建設の

主要経緯を表1に、平成3年12月時点の「もんじゅ」の全景を写真1に示す。

2. 原子炉構造の設計・製作

2.1 設備の概要

原子炉構造は、炉心を内包し、冷却材流路を構成する原子炉容器、炉心を支持し、各炉心構成要素への流量配分を行う炉内構造物、炉心からの放射線と熱を遮蔽する遮蔽プラグ等より構成され、格納容器内のほぼ中央に位置する原子炉容器室および炉上部ビット内に配置される。

全体の概略構造を図1に示す。

原子炉容器は上部フランジにより、ソールプレートを通じてベテスタル部で支持され、冷却材バウンダリーおよび冷却材流路を構成している。

ガードベッセルは上部フランジにより中間床で支持され、下部には下部支持構造物を設け、原子炉容器およびガードベッセルの地震時の水平方向変位を制限している。また、ガードベッセルの空間容積を制限することにより、万一配管からのナトリウム漏洩を生じた場合でも、原子炉容器の1次主冷却材出口ノズルの上端以下に液面が低下することなく、健全な系統で炉心の崩壊熱が除去できるようになっている。

炉心は炉内構造物により原子炉容器の中心に配置

表1 建設の主要経緯

昭和60年10月 建物の基礎掘削開始 (1985)			
61・1	原子炉建物の基礎基礎換算開始	63・12	1次冷却系配管搬付開始
61・3	建物の基礎掘削開始	元・4	中央監視室および中央制御室搬入
61・4	水切り開始 (原子炉格納容器部材)	元・6	1次冷却系循環ポンプおよび中間熱交換器搬付開始
61・5	原子炉格納容器現地搬移開始	元・7	1次冷却系中間熱交換器搬付完了
61・6	原子炉格納容器用ボークレーン打設開始	元・7	高圧線および過熱器搬付開始
61・7	原子炉格納容器用ボークレーン上梁	元・8	過熱器搬付完了
61・10	2次冷却系ナトリウムクレーン搬付	元・10	高圧線搬付完了
62・4	原子炉格納容器用ボークレーン完了	元・10	2次冷却系循環ポンプ搬付完了
62・5	原子炉格納容器用ボークレーン完了	九・11	1次系高圧テスト完了
62・6	原子炉格納容器用ボークレーン完了	二・1	1次系低圧テスト完了
62・8	原子炉格納容器用ボークレーン完了	二・2	遮蔽ブラッグ搬付開始
62・12	原子炉格納容器内ライナー搬付開始	二・4	275KV受電開始
63・2	原子炉格納容器内ライナー搬付完了	二・5	タービン発電機搬付開始
	ナトリウム貯留槽搬付	二・7	補助ボイラ火入れ
	原子炉格納容器ガードベッセル下部支持構造物搬付	二・8	燃料出入機搬付開始
63・4	原子炉格納容器内ライナー搬付完了	二・11	制御棒駆動装置搬付開始
	1次冷却系タンク搬付	二・12	蒸気タービン工事中検査完了
	2次冷却系タンク搬付	三・1	原子炉格納容器用ボークレーン閉鎖工事開始
	2次冷却系タンク搬付完了	三・3	ナトリウム現地搬入開始
63・6	原子炉格納容器ガードベッセル搬付	三・4	原子炉格納容器運転車検査 (No注入前) 搬付完了
63・7	ベテスタル搬付		確認
63・8	デリッククレーン搬付		
63・9	原子炉格納容器用ボークレーン搬付		
63・10	原子炉格納容器搬付完了		
63・11	1次冷却系中間熱交換器および循環ポンプガードベッセル搬付完了		

される。炉内構造物は各炉心構成要素を支持するためハイドロリック・ホールドダウン機能、誤装荷防止機能および流量調節機能を有しており、炉内構造物取付台により原子炉容器に支持されている。

原子炉上部は、遮蔽ブラッグによって原子炉カバーガス等のバウンダリを形成し、遮蔽ブラッグは搭載機器の位置決め、原子炉容器内からの放射線および熱の遮蔽機能を有している。遮蔽ブラッグは炉上部ピットに配置され遮蔽ブラッグ中間ソールプレート、原子炉容器ソールプレートを介してベテスタルで支持されている。

遮蔽ブラッグは、固定ブラッグおよび回転ブラッグから構成され、回転ブラッグには、炉心上部機構が据え付けられ、制御棒駆動機構を支持するとともに、燃料

交換時には、燃料取扱設備の燃料交換装置を搭載して、回転ブラッグの回転と燃料交換装置の移動とによって炉心構成要素を原子炉容器内で所定の位置に移動することができるようになっている。

原子炉容器からの炉心構成要素の取り出しは、燃料取扱設備の炉内中継装置を介して格納容器運転面上に設置される燃料取扱設備の燃料出入設備によって行われる。

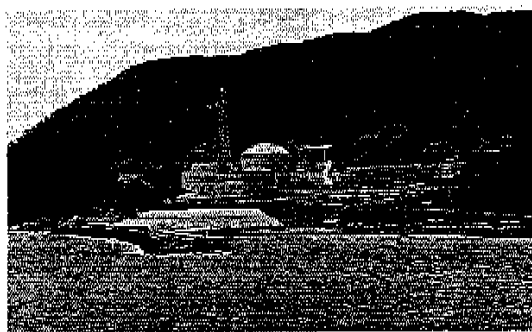


写真1 もんじゅの全景 (平成3年12月)

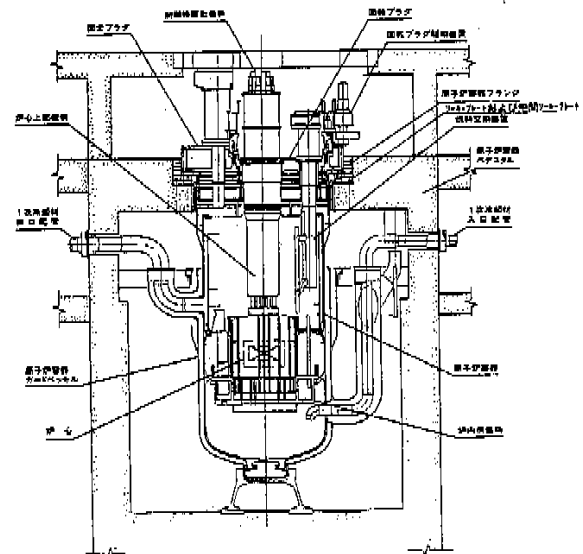


図1 原子炉構造説明図

表2 原子炉容器主要目

設計条件		主要目	
最高使用圧力	上部プレナム	2kg/cm ²	型式 底部鏡板付円筒たて型容器
	下部プレナム	10kg/cm ²	
	予熱プレナム	420°C	
最高使用温度	上部プレナム	550°C	主要寸法
	予熱プレナム	420°C	
	下部プレナム	420°C	
		上部胴内径	約7.8m
		中部胴内径	約7.1m
		下部胴内径	約7.1m
		筒板厚	約50mm
		全高	約17.8m
		重量	約280ton

2.2 設計

2.2.1 原子炉容器

原子炉容器は内部に炉心を支持するとともに原子炉容器内一次冷却材を保持しかつ炉心の冷却を支障なく行わせるための冷却流路を形成する。型式は、上部フランジ支持の底部鏡板付円筒たて型容器で胴部の内径は上部が7.8m、中下部が7.1mで間を円錐胴で接続しており全高は17.8mである。液体金属冷却型高速増殖炉として運転温度が529°Cでかつ冷却材としてのNaの熱容量が小さいことから、各種の熱設計対応が施されている。

原子炉容器の主要目を表2に、概略寸法を、図2に示す。設計段階において、機能、運転、安全上の要求が整理され、形状および寸法が決定された。寸法については、燃料交換性、炉心の大きさ、流動性

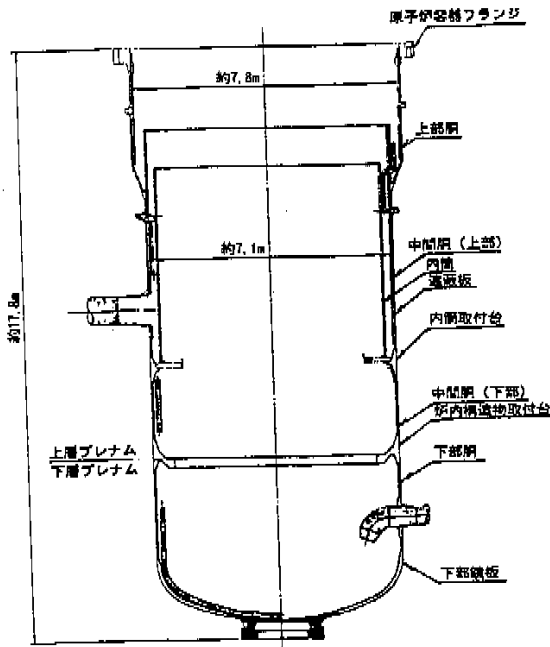


図2 原子炉容器寸法図

および遮蔽性が大きな決定要素となった。

2.2.2 炉内構造物

炉内構造物は、原子炉容器内の中心位置にあって、炉心燃料集合体の炉心構成要素を所定の位置に支持し、各種炉心構成要素が必要とする冷却材流量を適切に配分するという重要な機能を担っている。炉内構造物の構造は、図3に示されているように、厚肉大口径円板を基盤にしてボックス構造のフランジで支持する比較的シンプルな構造を採用し、機械荷重に対して十分な剛性を持ち、また、熱荷重にも耐え、しかも安定した流動が確保される設計として、あらゆる運転条件に対しても炉心構成要素を精度よく安全に保持することを可能にしている。流量配分設計に当たっては、専用解析プログラムにより行い、併せて、実寸大の単体確認試験ならびに原子炉構造の縮尺モデルによる総合水流動試験を実施して、その設計の信頼性を高めている。

2.2.3 遮蔽プラグ

遮蔽プラグは直径約9.5m、全高約7.5mの単回転プラグ型で主に固定プラグ(φ9.5m×H7.5m)および回転プラグ(φ5.9m×H7.5m)からなっている。遮蔽プラグの機能として、①原子炉カバーガスのバウンダリ機能、②炉心からの放射線および熱の遮蔽、③機器搭載機能および④燃料交換のための回転機能の4つが主として上げられる。

以上の機能要求に対して、①に対し回転部にフリーメタルシールおよびエラストマシールを採用

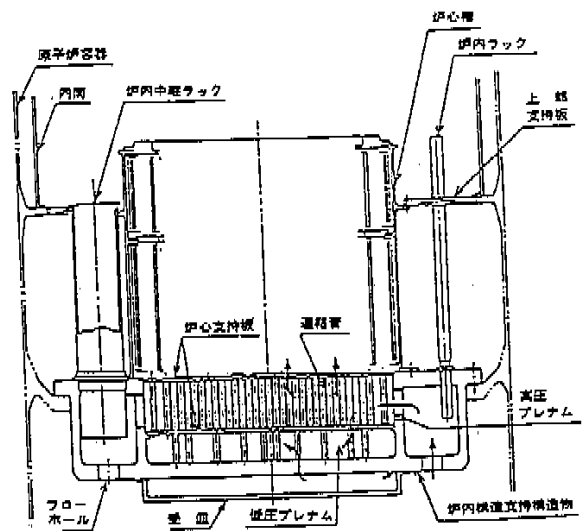


図3 炉内構造物構造説明図

した。②に対して断熱性と放射線遮蔽を兼ねた薄板積層構造を採用した。③に対して、固定プラグ上板において耐震剛性を確保するため2枚板溶接の箱型構造を採用した。④に対し回転プラグ回転時の支持方法および回転時の偏心量を小さくする等の工夫を行った。

熱の遮蔽および炉上部カバーガスの自然対流については、モックアップによる総合断熱試験を実施し性能の検証を行った。すなわち、前者においては、断熱層を模擬し試験時の構造材内部の軸および周方向温度を実測することにより温度分布解析のための設定条件を見出した。また、後者においては、自然対流に起因する周方向温度差(分布)の確認と試験後のNa蒸着状況の観察および分析により自然対流防止板等の効果の検証を行い実機に採用した。さらに、制御棒の地震時スクラム挿入性からくる炉心上部機構の耐震剛性と高い組立精度を得るため組立て取合部に嵌め合い構造を採用した。図4に原子炉本体構造説明図を示す。

2.2.4 炉心上部機構

炉心上部機構(以下「UCS」という。)は遮蔽プラグの中心位置に据え付けられる全高約14m、直径

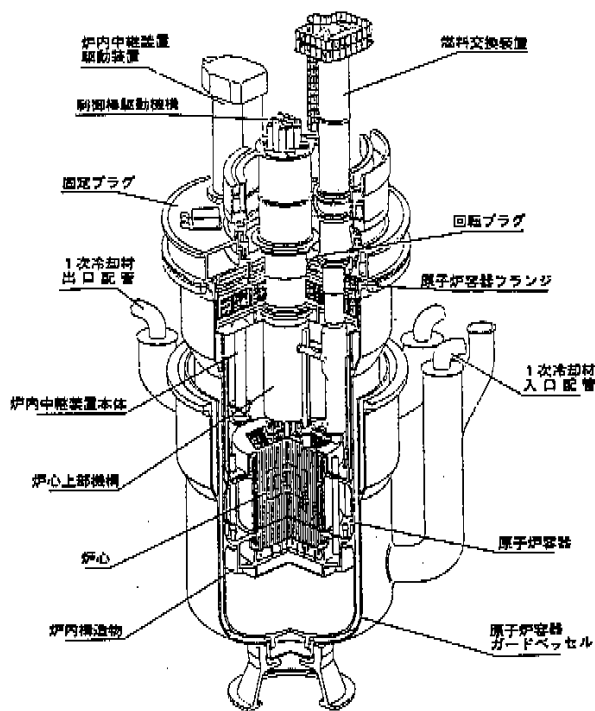


図4 原子炉本体構造説明図

約2.6mの上部支持円筒型で、上板、遮蔽部胴、継胴、整流装置、各種案内管、計装ウェル等から構成され、制御棒駆動機構、計装ウェル等の支持ならびに炉心からの放射線および熱遮蔽等の機能を有している。

制御棒駆動機構を搭載するUCSの設計は胴部における耐震性の確保と高温ナトリウム中接液部の熱荷重対策といった要求に対して調和を図ることが重要である。このため液面近傍部に内部にナトリウムを充填したバケットを設置し軸方向温度分布を緩和する構造とした。また、下部においては、温度ゆらぎ現象把握のための流動試験を行い温度ゆらぎ幅、周波数等、実機設計条件を定めた。図5に炉心上部機構説明図を示す。

2.2.5 制御棒駆動機構

制御棒駆動機構は、炉心上部機構に組み込み据え付けられており、その機能は炉心の反応度を制御(燃焼補償、温度補償、出力調整、炉停止等)するために制御棒を挿入・引抜きさせるものであり、主炉停止系の微調整棒駆動機構(3基)および粗調整棒駆動機構(10基)ならびに後備炉停止系の後備炉停

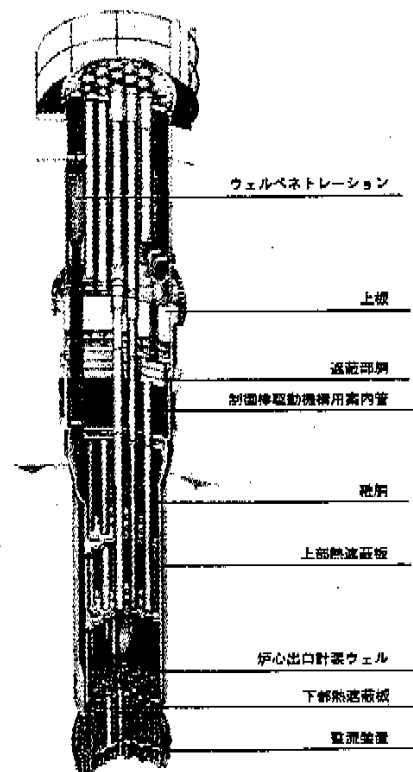


図5 炉心上部機構説明図

止棒駆動機構（6基）の3機種全19基からなっている。制御棒駆動機構は、緊急時のスクラム機能の他、通常運転時の制御棒挿入・引抜駆動機能、燃料交換時の制御棒の離し機能等原子炉運転上のきわめて重要な動的機器であるため、これら諸機能が十分満足されるよう、設計段階から試作機によるR&Dを行い信頼性確保に十分配慮がなされた。

各制御棒駆動機構とも、駆動モータ、制御棒保持機構等を収納する駆動部と、駆動軸、遮蔽体等からなる上部案内管部により構成され、原子炉容器カバーガスのシールは上部案内管内のベローズ等により形成される。制御棒駆動機構はすべてスクラム機能を有し、微・粗調整棒駆動機構は駆動軸・制御棒一体落下型の重力落下ガス加速方式、後備炉停止棒駆動機構は制御棒分離落下型の重力落下スプリング加速方式を採用した。図6に、制御棒駆動機構動作原理図を示す。

2.3 製作・据付

2.3.1 原子炉容器

製作には昭和61年2月から63年9月までの約2年6ヵ月を要した。製作上の特徴として高精度を要求される薄肉大口径容器、高温Na中での健全な溶接継

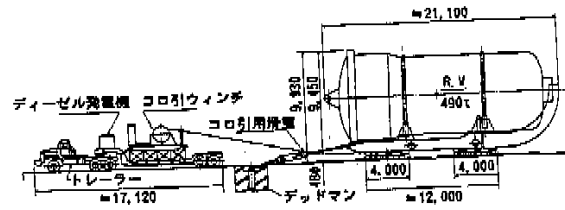


図7 原子炉容器輸送（コロ引き）要領図

手の確保があげられる。このため、組立てにおいては、大型リング鍛造部材採用による溶接継手の最小化およびたて置組立工法の採用、機械加工においては、恒温室内での大型複合作業機械による高精度加工、また、溶接においては伏開先TIG溶接法および高温クリープ強度を保證した溶接材料の採用ならびに複数基による自動溶接等の工夫がなされた。これらの方法を採用することにより、上部フランジから下部サポートまでの真直度の精度を確保することができた。

原子炉容器は原子炉容器室ベダスタル部に搭載され、先に同室中間床上に設置された原子炉容器ガードベッセル内に中間胴より下部が内包される形で据え付けられる。据付にあたっては、供用期間中検査（以下「In-Service Inspection」と略す。）および熱変位に伴う干渉防止上必要な隙間の確保、1次主冷却系主配管との取合、原子炉容器とガードベッセル下部サポート間の振れ止めリングの取付等に必要とされる精度の他、制御棒スクラム挿入性からくる精度が重要であり、原子炉容器搭載面のレベル出しに十分な配慮がなされた。原子炉容器輸送時のコロ引き要領および輸送状況を、図7、写真2に示し、据付時の手順および据付状況を図8、写真3に示す。

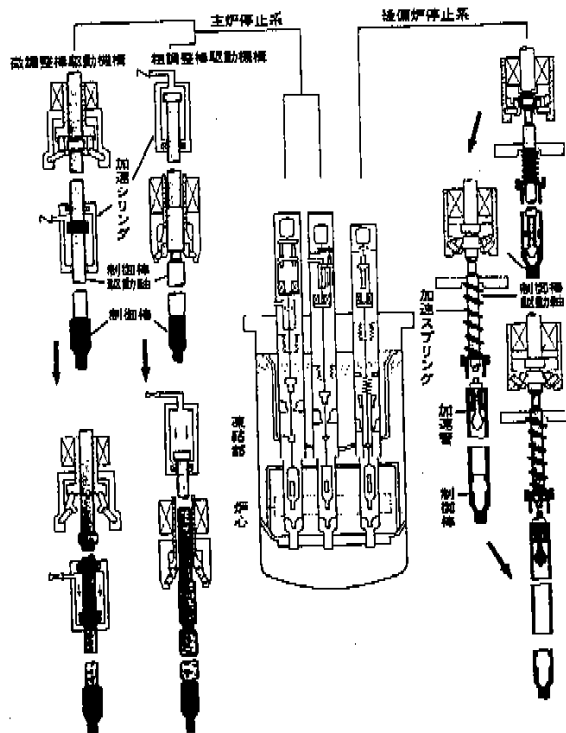


図6 制御棒駆動機構動作原理図

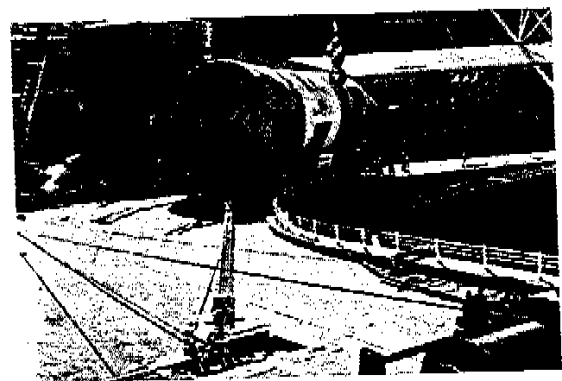


写真2 原子炉容器輸送（コロ引き）状況
88年10月16日撮影

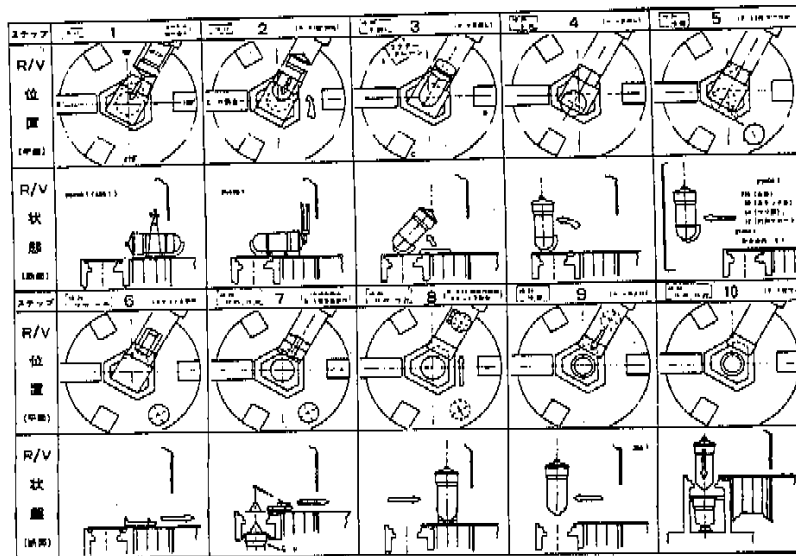


図8 原子炉容器 据付手順図 (R/V: 原子炉容器)

2.3.2 炉内構造物

炉内構造物は、溶接組立部品と、機械加工部品を組立てたものである。前者には、炉内構造支持構造

物、炉心槽、遮蔽板および受皿があり、後者には、炉心支持板および連結管等がある。

炉内構造物は、その要求される機能から高い寸法精度が要求され、この寸法精度を守るために、製作にあたっては、部品要素毎に製作段階のひずみを除去し、精度を確保していった。

炉内構造物の据付に当たり、制御棒挿入性に係わる据付精度の確保、異物混入防止を含む、原子炉容器内の厳しい清浄度管理に注意して行われ、かつ炉内構造物の水平度、回転、芯ずれ等に、十分な管理がなされ高精度の据付寸法結果を得ることができた。

炉内構造支持構造物の据付状況を、写真4に示す。



写真3 原子炉容器 据付状況
88年10月24日

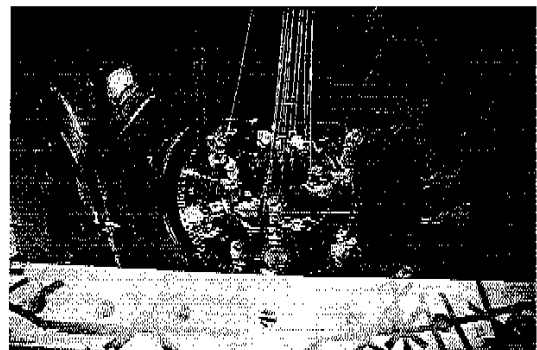


写真4 炉内構造支持構造物の据付状況

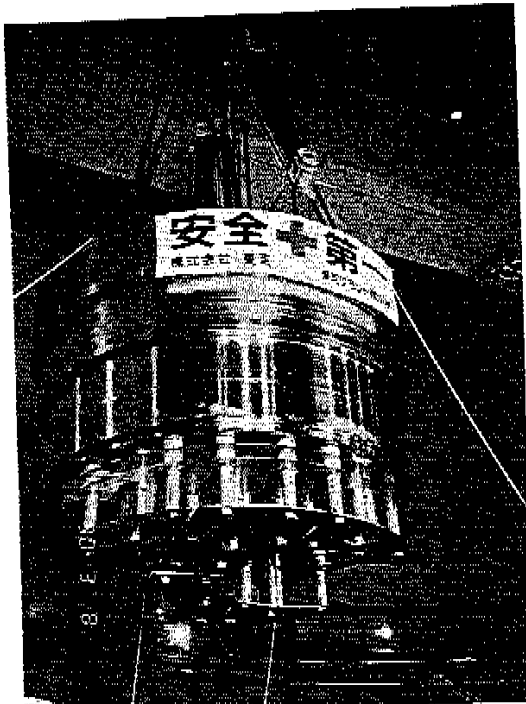


写真5 回転プラグ据付状況

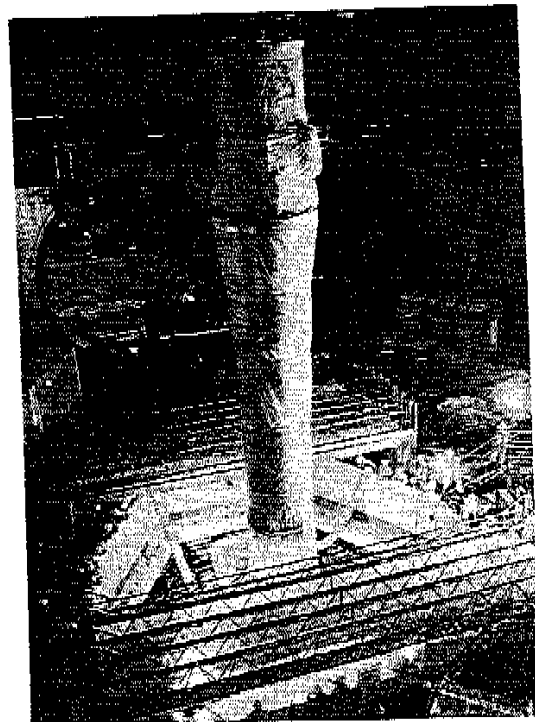


写真6 炉心上部機構据付状況

2.3.3 遮蔽プラグ

遮蔽プラグ上板の溶接においては、大口径厚板の溶接（2つ割）に低歪み特殊溶接法を採用した。また、嵌め合い構造の取合部については、その嵌め合い精度を高めることにより同心度および各取付穴の位置精度を高めた。特に炉心上部機構が搭載される回転プラグの搭載穴の中心位置が遮蔽プラグ中心に合う事を工場での仮組立てで確認し、据付時での再現性確保のため、ノックピンを施した。また、据付においては、遮蔽プラグの中心を決定することとなる固定プラグ上板の中心を炉内構造物の中心に合わせるべく据付を行った結果、両者の芯ずれ量は1mm以内となった。回転プラグ据付状況を写真5に示す。

2.3.4 炉心上部機構

製作は、上板、遮蔽部胴、継胴、整流装置の4ブロックに分割し下方から上方へたて置きで組立てを行った。各接続部は、耐震剛性および真直度の確保のため嵌め合い構造とし、嵌め合い公差を厳しく管理した。上板部は、制御棒駆動機構の位置を決定するため鍛鋼品を使用し搭載穴の位置精度を高めた。下部の整流装置部は、制御棒案内管と管板の接続、熱保護板の取付等、作業が複雑なためモックアップ

にて組立て手順の確認を行い突機の製作に反映した。

回転プラグのUCS搭載穴の中心と炉内構造物中心との芯ずれ量が1mm以内であったことおよびUCS搭載面の水平度も十分確保されていたことから、UCSソールプレートの調整加工による芯ずれ量および水平度の調整は不要となり、UCS本体の位置ずれを極力小さくすることにより、UCS中心と炉内構造物中心との芯ずれ量を1mm以内とすることができた。炉心上部機構据付状況を写真6に示す。

2.3.5 制御棒駆動機構

制御棒駆動機構の駆動部はスクラム機能を始めとする諸機能を満足するため、要素毎の製作精度および組立ての寸法精度確保に留意した。また、上部案内管部は長尺かつ多重管構造であるため、制御棒の取扱性から真直度の確保に留意した。据付においては、制御棒のスクラム挿入性から要求される炉心上部機構と炉内構造物との芯ずれ量および制御棒のつかみ、離しが確実に行えるための制御棒駆動機構の軸方向据付レベル等、機能を発揮するに十分な据付け精度が得られた。駆動部の吊込みを写真7に、据付け状況を写真8に示す。

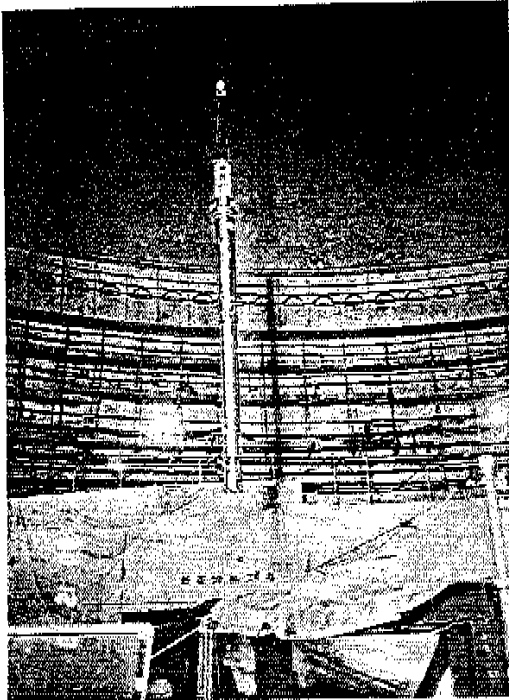


写真7 駆動部の吊込み

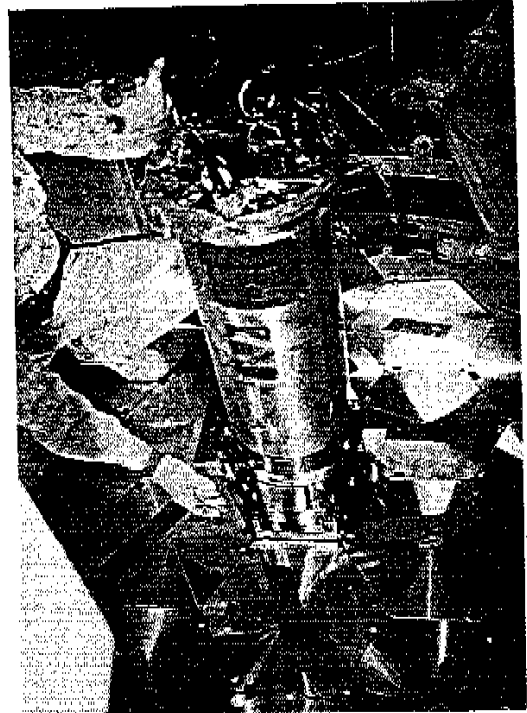


写真8 駆動部据付状況

2.4 まとめ

原子炉構造の機能を満足するため、設計段階では、必要なR&Dを実施し実機設計に反映させた。また、製作においては、機能確保および取合精度から構成要素単位での管理と機器ごとの組立精度の管理を行った。さらに、現地での据付においては、工場での組立精度と同等の精度が確保できるよう、選家との取合部を水平に調整した後据付けを行った。

このような品質管理を行うことにより、原子炉構造の高精度な組立・据付を実現できた。

3. 1次主冷却系設備の設計・製作

3.1 設備の概要

1次主冷却系は、中間熱交換器、主循環ポンプ、主循環ポンプオーバフローコラム、配管および弁類、電磁流量計、ガードベッセル等で構成される。

炉心で約530℃に加熱された1次ナトリウムは中間熱交換器に入り、その熱を2次ナトリウムに伝え、約400℃に冷却された後、主循環ポンプで昇圧されて再び原子炉容器に戻る。交換熱量は1ループ当たり約238MWtである。また、原子炉出力に応じて原子炉容器出入口温度差をほぼ一定に保つため、1次主冷却系主循環ポンプMGセット（可変周波数電源設備）により循環流量を約50～100%の範囲で

制御する。

3.2 設計

3.2.1 1次主冷却系循環ポンプ

1次主冷却系循環ポンプは機械式たて型自由液面式で、定格運転時および万一の事故時条件下でも炉心部に一定の冷却材を循環させるため、以下の条件が要求される。

- ① 電源喪失により駆動源が主電動機（常用電源）からポニーモータ（非常用電源）に切り替わる過程（コストダウン）でも炉心冷却に必要な流量が確保されること。
- ② ポニーモータ運転時、所定の流量が確保されること。

1次主冷却系循環ポンプ構造を図9に示す。

3.2.2 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「常陽」の実績を踏まえ大型化した、たて型無液面平行向流型であり、循環ポンプの吸込圧力を確保するため圧力損失の低い胴側を1次冷却材側とし、管側を2次冷却材側とした直管型である。1次主冷却系中間熱交換器構造を図10に示す。

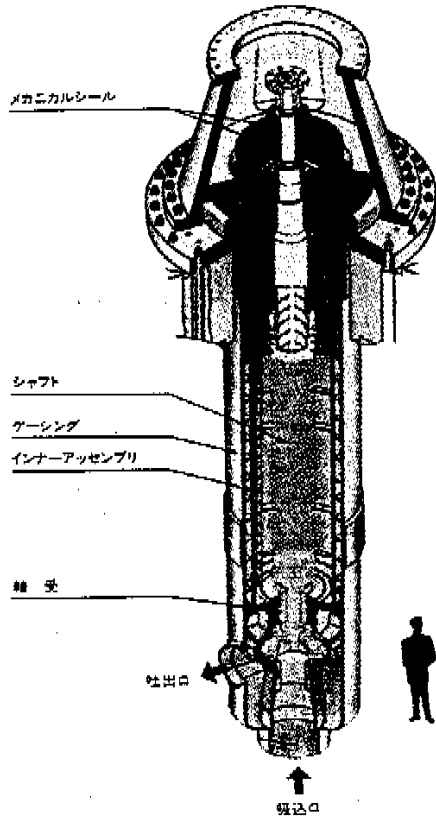


図9 1次主冷却系主循環ポンプ構造

3.2.3 ガードベッセル

中間熱交換器、および循環ポンプのシステムレベル以下の部分には、その外側にはガードベッセルを設け、1次主冷却系配管からのナトリウム漏洩を想定しても炉心崩壊熱除去に必要な最低液位を確保している。

3.2.4 1次主冷却系配管

1次主冷却系の循環ループを構成する配管のうち、原子炉容器出口から中間熱交換器を経て循環ポンプに至る配管はポンプ吸込圧力確保のため32Bとしており、循環ポンプ出口から原子炉容器入口に至る配管は24Bとしている。高温の配管は熱膨張による応力を低減するため、一般に撓性を高めて設計する必要があり、一方、耐震上の要求から、剛に設計する必要もある。このことから、配管とサポートは支持位置および支持条件を考慮しサポートクランプによって結合されるが、特に管軸方向サポート部は配管を厚肉とし、嵌合構造を採用した。

これら薄肉大口径配管の支持構造、耐震性につい

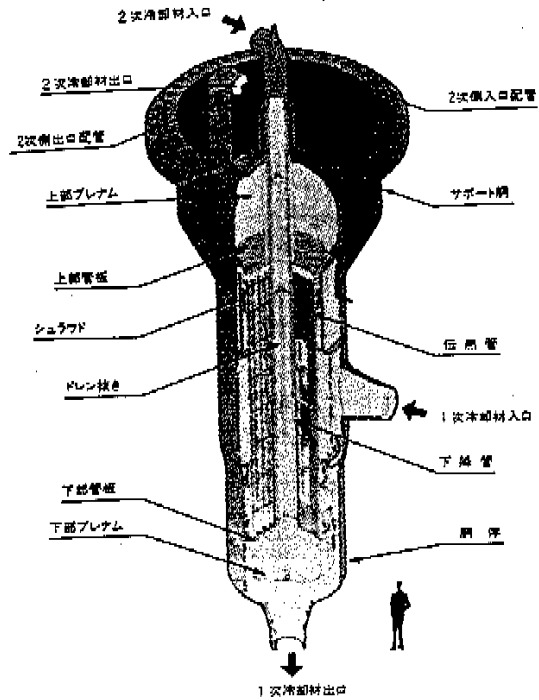


図10 1次主冷却系中間熱交換器構造

ては実機モデルにより健全性を確認している。

3.3 製作・据付

3.3.1 1次主冷却系循環ポンプ

1次主冷却系循環ポンプは、製作に関する厳しい品質管理規制が適用され、単に法規制上の要求品質を満足させるだけでなく、プラントシステム上の重要度を考え合わせ、特別な生産体制および製作ノウハウの駆使によって高品質を確保した。

工場試験では、主電動機およびボニーモータ駆動による性能試験が、常温の純水を用いた専用閉ループ試験設備で行われた。なお、主電動機は実機のM-Gセットを用いて駆動し、主循環ポンプの回転数制御運転を行い、駆動系との組合せ性能も確認した。1次主冷却系循環ポンプのインナーアセンブリの据付け状況を写真9に示す。

3.3.2 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、最内層のナトリウムのドレン管を含め5層のシェルから構成される。内側シュラウド、外側シュラウド等の伝熱管東部品を単品で製作し、順次組み込み、上部管板、下部管板を溶接した後、伝熱管を挿入し管-管板溶接を行う。次に、2次出口プレナム鏡、2次入口プレナ

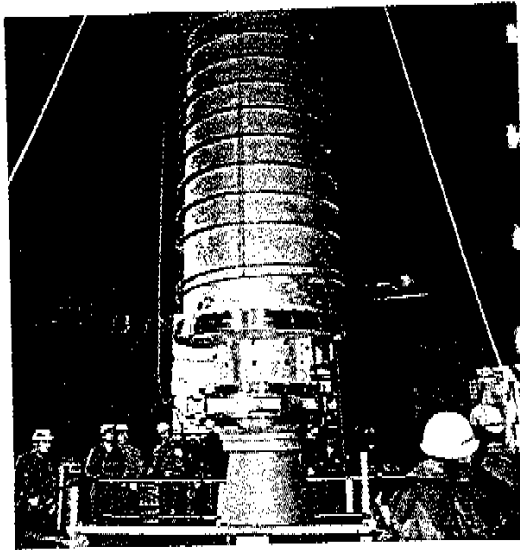


写真9 主循環ポンプのインナーアセンブリの据付

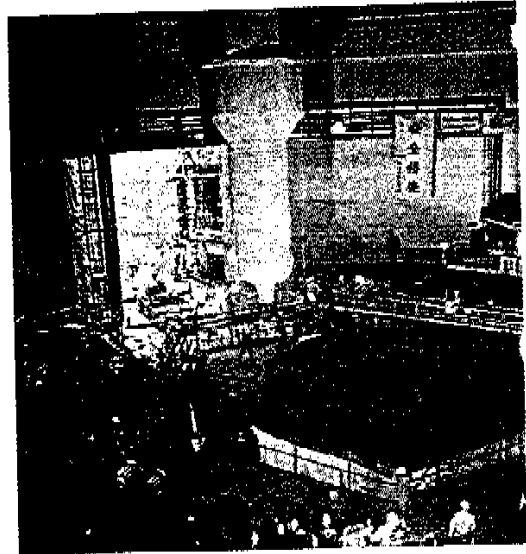


写真10 主中間熱交換器の据付

ム鏡の溶接取り付けを行い、最後に1次側の下部鏡、サポート脚を取り付けた。

伝熱管管束は、1次ナトリウムの流量分布の均一化のため、組立部品の相互間の寸法公差を厳しく抑えることに留意し、この製作精度を確保するため、内側シュラウドの外側、外側シュラウドの内面およびバッフル板の内径・外径は精度の高い機械加工を行い、薄肉大口径のこれらの円筒の機械加工に当たっては、変形を防止するために万全の対策をとった。1次主冷却系中間熱交換器の据付状況を写真10に示す。

3.3.3 ガードベッセル

ガードベッセルは清浄度の管理された工場で作製され、製作後海上輸送によって現地へ運ばれた。1次主冷却系室への据付は、原子炉格納容器仮開口部より搬入し、ポークレーンおよび専用の天秤を用いて水平度、レベル、芯ずれ等の据付精度に注意しながら行った。

ガードベッセル内の補強ビームは、工場出荷時にはボルト固定とし、現地では機器・配管据付後に組立て溶接した。また、ガードベッセル内の機器振止、配管振止も機器配管据付後に芯合せ、ギャップ調整を行い現地で溶接した。

3.3.4 1次主冷却系配管

1次主冷却系主配管には板巻管を、その他の部分には継目無鋼管を用いている。主配管には配置ある

いは強度の観点から通常のエルボに加え、180度エルボ、肉厚エルボを適切に使い分けている。

1次主冷却系主配管の溶接では以下の事項を考慮してインサートリングを用いた全自動溶接法を採用した。

- ① 溶接施工法としては、初層も含めて全自動TIG溶接とし、安定した品質を確保した。
- ② 大口径薄肉配管は溶接仕上りを良くするためインサートリングを採用した。

1次主冷却系配管サポート施工方法について図11に示す。

3.4 まとめ

1次主冷却系の機器・配管の据付は各種工事が錯綜する中で進めるため、塵埃をはじめとする異物混入防止に最大限の注意が払われた。特に配管据付工事は現地溶接作業があるため、施工中の清浄度維持はもとより、大口径配管については最終スプール開先合せ前に内部に人間が入り確認を行った他、内部確認ができない小口径配管については入念なフラッシングを行い、異物混入防止に万全を期した。ナトリウム充填後に実施した1次主冷却系のナトリウムフラッシング試験では、特に異物は検出されず、建設期間中の優れた清浄度管理技術が実証された。

4. 2次主冷却系設備

4.1 設備の概要

2次主冷却系設備は、2次主冷却系循環ポンプ、

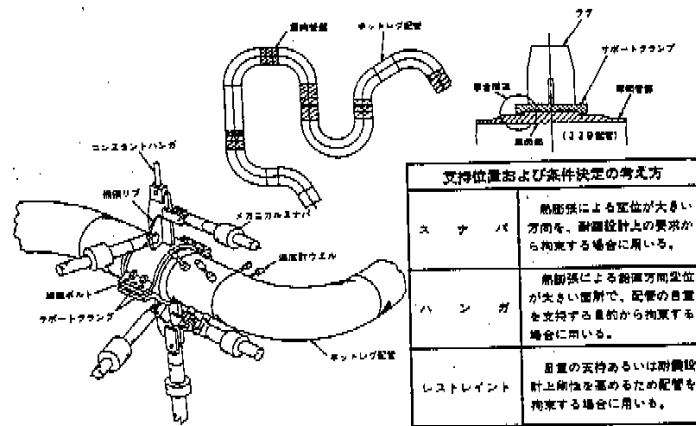


図11 1次主冷却系配管サポート施工方法

蒸気発生器設備および2次主冷却系配管等で構成され、主として原子炉補助建物内に配置されている。本設備は、1次主冷却系設備とともに原子炉の冷却系として独立した3つの熱輸送系ループからなり、次の機能を有している。

- (1) 原子炉で発生した熱を1次主冷却系中間熱交換器を介して受け、蒸気発生器により水・蒸気に伝達する。
- (2) 通常運転時、運転時の異常な過渡変化時および事故時の原子炉停止時には、1次主冷却系設備、補助冷却設備とあいまって炉心冷却を行う。

2次冷却材は、2次主冷却系循環ポンプから吐出され、1次主冷却系中間熱交換器の管側に入り、胴側を流れる1次主冷却系の冷却材から熱を伝達され加熱される。1次主冷却系中間熱交換器を出た2次冷却材は、過熱器の胴側に入り、管側の蒸気と熱交換して冷却される。さらに2次冷却材は、蒸気発生器胴側に入り、管側の水・蒸気と熱交換して2次主冷却系循環ポンプへ戻る。冷却材には、伝熱特性に優れた液体金属ナトリウムを用いている。

なお、2次主冷却系は、1次主冷却系との境界である1次主冷却系中間熱交換器において、1次冷却系より高圧に維持し、万一、1次主冷却系中間熱交換器の伝熱管に損傷が生じたとしても1次冷却材が2次主冷却系に漏洩するのを抑制できるようになっている。

4.2 設計

4.2.1 2次主冷却系循環ポンプ

2次主冷却系循環ポンプは、高温ナトリウムを取扱う回転機器として、また、原子炉停止時の崩壊熱

除去運転の要求から、種々の運転条件下でポンプが健全に機能しなければならない。このため、各種の要素開発試験を実施するとともにポンプを構成する各部の強度、耐震性等を解析的に評価し、ポンプ設計に反映した。

2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インペラ、シャフト、軸受、軸封装置および駆動装置等で構成されている。図12に構造を示す。

2次主冷却系循環ポンプは、下端に吸込ノズルがあり蒸発器を出たナトリウムは、ここからポンプに入り、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、ポンプの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、オーバフローノズルより流出しオーバフローコラムを経て配管に戻る。ポンプ内ナトリウム自由液面上部は、アルゴンガスで覆っている。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。内部構造物は、保守点検が容易にできるようケーシングから抜き出すことができる。

ポンプ上部には、軸を介して駆動用の主モータおよびボニーモータが取付けられている。ポンプの流量調節は、各ポンプに設けている静止形可変周波数電源装置により主モータの周波数と電圧を變えることにより行っている。主モータ駆動電源が喪失しても、冷却材流量が急激に減少することがないようにポンプには適切な回転慣性を持たせ、過渡時の冷却を行う。また、本ポンプは、補助冷却設備の冷却能力を確保するため、ギアおよびクラッチを介してボニーモータにより非常用電源で低速運転し、所定の

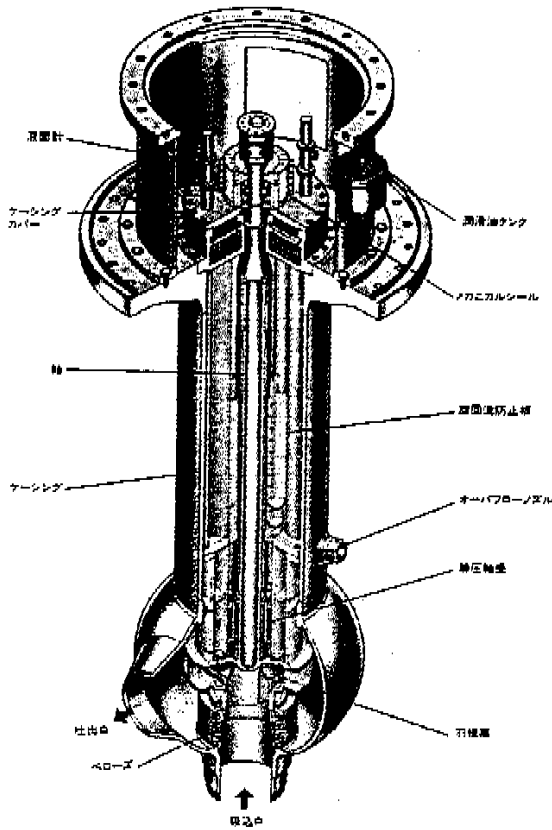


図12 2次主冷却系循環ポンプの構造

流量が確保できるようになっている。

4.2.2 蒸気発生器設備

蒸気発生器設備は、2次主冷却系と同じく3ループよりなり、各ループにはヘリカルコイル貫流式分離型で水・蒸気とナトリウムの熱交換器である蒸発器と過熱器各1基が直列に設置されている。この型式は、将来の大型化を考慮して大容量に対してもコンパクトな構造とすることができることおよび胴側と管束部の熱膨張が吸収できる等の理由により選定している。また、有液面とすることで万一の伝熱管破損による水漏洩事故に対して、ガス空間の緩衝効果により圧力上昇を緩和することができる。

(1) 蒸発器

蒸発器は、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の熱交換器であり、伝熱管群およびその内容構造物とそれらを内蔵する胴からなる。写真11に外観を示す。加熱体であるナトリウムは、上部胴体の6本のナ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

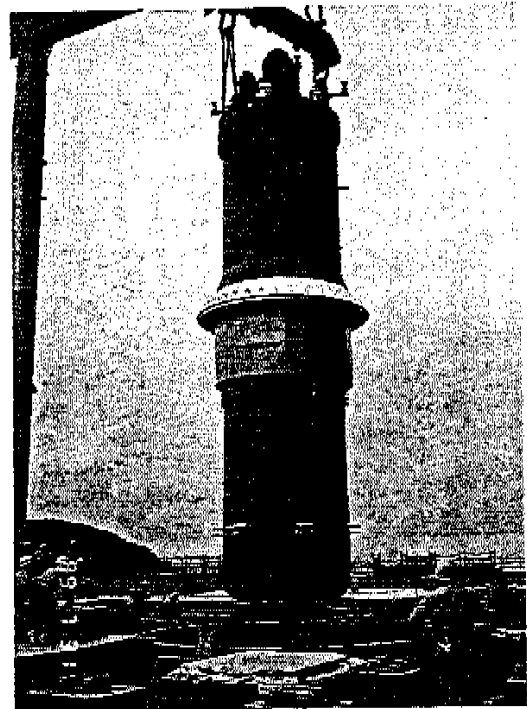


写真11 蒸発器の外観

口ノズルから流出する。一方被加熱体である水は、6本の給水入口ノズルから導入されたのち下降管内を降下し、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、30℃以上の過熱度を持った蒸気となって蒸気出口ノズルより流出する。

(2) 過熱器

過熱器は、基本構造および流体の流れは蒸発器とほぼ同じである。しかし、過熱器は、蒸発器に比べ高温の使用環境となるため、主要材料としてオーステナイト系ステンレス鋼を採用していることおよび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っている。写真12に外観を示す。

4.2.3 配管・サポート

2次主冷却系配管は、冷却材の保持機能を有する他原子炉で発生した熱をタービン・発電機に導く熱輸送系を構成する重要な機器の一つである。高速増殖炉では、冷却材にナトリウムを使用していることから高温・低圧の使用環境となり、配管が大口径の薄肉管となる。また、2次主冷却系配管は、蒸気発生器の集中配置に対応させているため、長い引き回しとなっている。このような特徴を持つ2次主冷却系配管では、熱膨張の拘束を極力避けるとともにドレン、ベントの少ない合理的な設計としている。ま

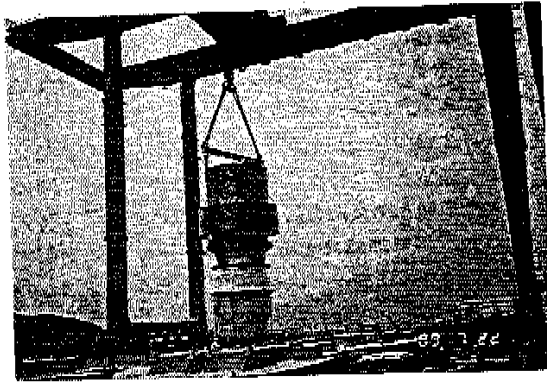


写真12 過熱器の外観

た、適切なサポート設計を行うことにより、配管の熱膨張による応力の低減および耐震上の要求を満足させている。

2次主冷却系配管は、1次主冷却系中間熱交換器と取り合った後、原子炉格納容器貫通部を介して、原子炉補助建物に配置され自重サポートおよび耐震サポートで支持されている。これらサポートと配管とは、配管クランプおよびラグにより結合されている。

4.3 製作・据付

4.3.1 2次主冷却系循環ポンプ

2次主冷却系循環ポンプは、原子炉冷却材ポンプとしての要求品質を満足させることはもとより、回転機器としての芯出し精度の確保等を図るために、素材段階から溶接、熱処理、機械加工、組立および試験に至るまでの各プロセス毎に慎重かつ細心の注意を払い、昭和62年10月～平成元年7月にかけて製作した。

現地への搬入は、外ケーシングとインターナルに分割して平成元年9月～平成2年4月に実施した。据付は、据付要求精度を確保するだけでなく、ポンプ内部への異物混入を防止し、清浄度管理にも十分配慮して行った。写真13にポンプインターナルの吊り込み状況を示す。

4.3.2 蒸気発生器設備

(1) 蒸発器

蒸発器は、ナトリウムと水/蒸気の熱交換器であり、製作には40ヵ月を要し、上部平板部、管束部および胴部の3個のブロックに分けて製作し、最終的に一体化して組立てた。伝熱管は、ナトリウムと水/蒸気の境界を形成するため高い信頼性が要求さ

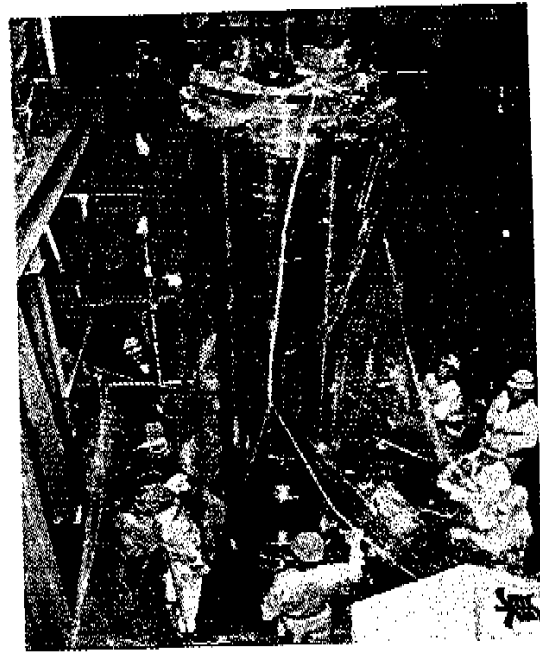


写真13 ポンプインターナル吊込み状況

れる。この伝熱管の製作には、高精度の曲げ加工、組立工法を取り入れ、品質の安定化と作業の効率化を図った。また、伝熱管と管板溶接部は、管板と一体構造の管台と伝熱管の突き合わせ溶接構造とし、内面TIG溶接法を採用して信頼性の向上を果たしている。

蒸発器は、3重シートで梱包して海上輸送によりサイトに搬入した。3重シートで梱包したのは、建屋内への塩分持ち込みを防止するためである。据付は、平成元年8月～平成3年2月にかけて実施した。写真14に蒸発器の搬入、据付状況を示す。

(2) 過熱器

過熱器は、蒸発器とほぼ同様の手順で製作したが、特に主要材料にオーステナイト系ステンレス鋼を採用していることから、ステンレス専用工場において、より厳しい雰囲気管理の場に行われた。過熱器の製作には、32ヵ月を要し海上輸送によりサイトに搬入し、平成元年7月～平成2年11月にかけて現地据付工事を行った。

4.3.3 配管・サポート

2次主冷却系配管は、平成元年8月～平成3年2月にかけて据付工事を行った。2次主冷却系配管は、軽水炉に比べ外径/肉厚比が大きいため、溶接・輸送等に伴う真円変形防止を図ることが据付施工上



写真14 蒸発器の搬入・据付状況

重要なポイントとなる。このため、①モックアップテストにより最適溶接条件を確認し、真円変形等の防止を図った。②専用治具を用いて真円保持を確保した。溶接に当たっては、開先合わせ時の作業性および溶接仕上りを良くするためインサートリングを用いるとともに据付工期の短縮化のために可能な限り工場ブロック化して現地溶接箇所を削減する工法を採用した。その他、配管据付時には、各種工事が併行する中で進められたため施工中の清浄度維持管理を強化し異物混入防止対策に万全を期した。

4.4 まとめ

2次主冷却系設備の主要機器である循環ポンプ、蒸気発生器および配管等は、各種の研究開発成果を十分反映して設計した。また、製作据付に当たっては、単に法規制上の要求品質を満足させるだけでなく、プラントシステム上の重要度を考え合わせた厳しい品質管理を行った。これら2次主冷却系設備の主要機器の設計・製作および据付を通して大型ナトリウム機器の製作技術および溶接技術等を確立するとともに、綿密な工程管理、万全な異物混入防止対策、施工上の様々な工夫等により、所定の期間内で高品質の機器・配管を施工することができた。

5. 水・蒸気系統設備

5.1 設備の概要

水・蒸気系は蒸気タービンならびにその付属装置、主蒸気設備、復水設備、給水設備等から構成される。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、過熱器を通る間に2次冷却材と熱交換を行い過熱蒸気になり、主蒸気止め弁、蒸気加減弁を通り高圧タービンに流入する。8段の高圧タービンを駆動した蒸気は、2台の低圧タービンを駆動し、発電機によって定格出力時約28万kWの電気を発電する。低圧タービンを駆動した後の蒸気は、復水器に排し出され、ここで循環水系の海水との熱交換により凝縮され、復水ポンプによって給水設備に送り込まれる。給水は3段の低圧給水加熱器および脱気器、そして2段の高圧給水加熱器により加熱昇温され、再び2台の給水ポンプによって蒸気発生器に送られ同様のサイクルを繰り返す。

タービン設備の主要目を表3に、基本構成を図13に示す。

5.2 設計

5.2.1 システム設計

システム設計上は、特に分離貫流型である蒸気発生器との特性と調和を図る必要があり、次のようなシステム構成運用としている。

(1) 蒸気発生器に通水する際、ナトリウムを凝固点以下まで冷却させないため、所内補助蒸気および蒸気発生器出口蒸気を脱気器および低圧第3段以降の給水加熱器に導く系統を設け、タービン抽気蒸気が使用できない状態でも最低給水温度として約195℃を確保する。

(2) 蒸気発生器伝熱管の万一の水漏洩に対しては、給水をシャ断するとともに、放出弁により蒸気発生器内保有水を系外に放出することで事象の拡大を防

表3 タービン設備の主要目

全 般	定 格 出 力	280MW (熱効率39.38%)
	タービン主出入口蒸気条件	127kg/cm ² ・g/483℃、1,137t/h
蒸気タービン	型 式	くし形3気筒4流排気 非再熱複水式
	段 落 数	(高圧) 8段×並流/(低圧) 6段×4流
発 電 機	制 御 系 置	電気油圧式(EHC)
	定 格	315MVA-2機-15kV
復 水 器	駆 動 方 式	サイリスタ動機による誘導動機方式
	型 式	表面復水式半区分水室型
給 水 加 熱 器 および脱気器	真 空 度	722mmHg
	伝 熱 管 材 料	熱交換器用チタン管
給 水 加 熱 器 および脱気器	給 水 加 熱 器	積置U字管型
	脱 気 器	積置圧カトレイ型

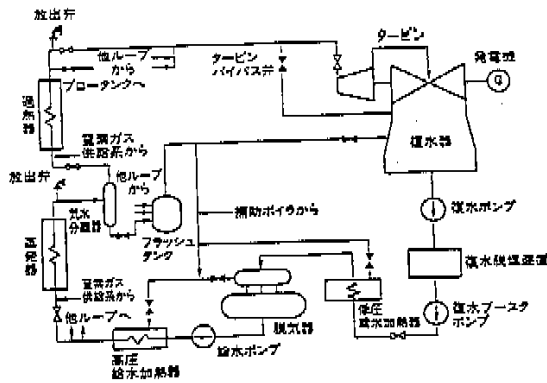


図13 水・蒸気系基本構成

止する。

- (3) 蒸発器における流動の不安定現象を防止するために、蒸気が発生開始する時点では一定量以上の給水が確保される。一方、伝熱管の健全性を確保する上で過熱蒸気状態となつてから過熱器へ通気する必要があることから、過熱器への通気が完了するまでの蒸発器出口からの水・蒸気を処理する起動バイパス系を設ける。
- (4) プラントトリップ時には、蒸気をブローし、器内を減圧冷却することにより、蒸気発生器低温部位の温度上昇を防止する。
- (5) 蒸気発生器伝熱管の健全性を確保する上で重要な給水の水質調整として、アンモニア、ヒドラジンをを用いた揮発性薬品処理を採用する。
- (6) 急速なタービン負荷の減少時には、余剰となった蒸気を吸収してプラントの安定な運転が可能となるよう高速作動のタービンバイパス系を設ける。

5.2.2 機器設計

(1) 蒸気タービン

蒸気タービンは、串型3気筒4流排気非再熱式復水タービンであり、定格出力時の蒸気条件は主蒸気止め弁の前で圧力約127kg/cm²g、温度約483℃、排気真空度は約722mmHgである。

さらに、蒸気タービンのうち高圧タービンは高圧・高温に耐えうるよう火力タービンに準じた設計とし、低圧タービンは非再熱性のため、浸食・防食防止等のドレン対策に主眼を置いた軽水炉タービンに準じた設計としている。

軽水炉、火力との膨張線図比較を図14に示す。

(2) 復水器

復水器は、低圧タービン排気室の下部にタービン

軸と並列に取り付けられる表面復水式半区分水室型の熱交換器である。定格出力時に冷却水入口温度17℃、冷却水出口温度24℃以下(ΔT7℃以下)、冷却水量888m³/minの時に、タービン排気蒸気を凝縮することにより復水器真空度を722mmHgに保持する機能を有する。

(3) 給水加熱器および脱気器

給水加熱器は、水室、管板、加熱管、胴体から構成される横置U字管型の熱交換器である。高圧給水加熱器は2段、低圧給水加熱器は3段で高圧、低圧ともに1系列で構成される。定格出力時に蒸気発生器(蒸発器)へ240℃の給水を送水できる機能を有する。

脱気器は、胴、復水噴射弁、脱気トレイ等で構成され、復水噴射弁から器内に復水を噴射して器内の蒸気と接触させ第1段の脱気を行うとともに、器内に設置した脱気トレイの間を復水が落下する時に上昇してくる蒸気と接触して第2段の脱気を行う直接接触式熱交換を行う横置円筒形熱交換器である。

(4) 発電機

発電機は、冷却媒体として水素ガスを使用した完全密封構造の三相同期発電機である。回転子は、ダイアゴナルフロー形の直接冷却方式を採用し、固定子コイルは、内部に純水を通す水直接冷却方式を採用している。なお、固定子コイルは水素ガスでも冷却される。励磁方式は、サイリスタ励磁方式を採用し、励磁電源は、相分離母線に接続された励磁用変圧器から供給している。

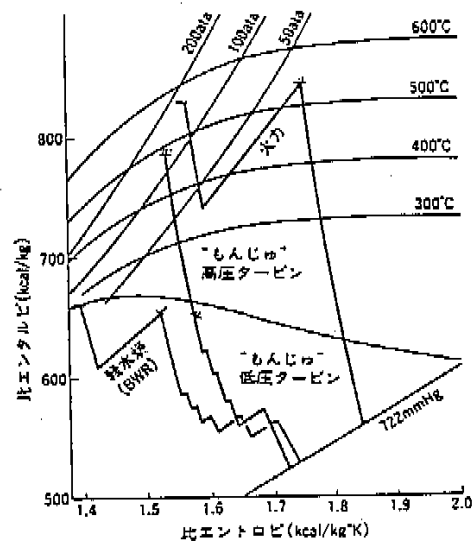


図14 蒸気タービン膨張線図比較

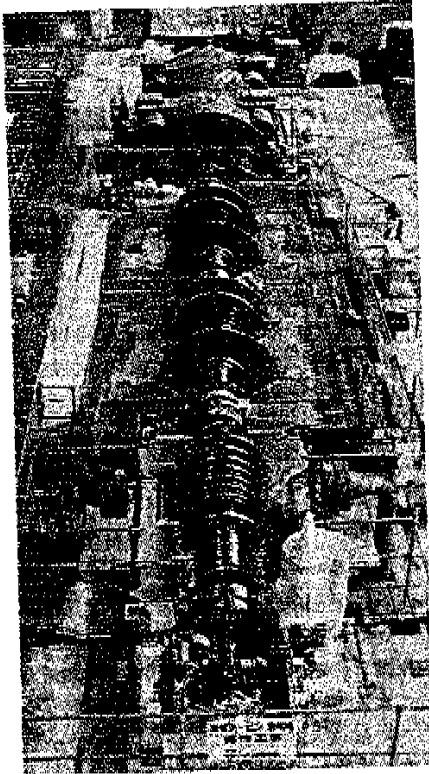


写真15 タービンロータ据付状態（手前から高圧、低圧A、低圧B、発電機の順）

5.4 まとめ

水・蒸気系統設備の主要機器である蒸気タービン、復水器、発電機および配管等の設計・製作に当たっては、最新の技術を採用することによって、プラント効率の向上を図っている。据付に当たっても、最新の技術・工法を導入するとともに、厳密な工程管理・異物混入防止、特にタービン本体および復水器内工事・配管施工中の異物管理および最終フラッシングを入念に行う等の徹底した異物混入防止対策等の高度な品質管理を行ったことにより、当初の工程期間内で高品質な機器・配管を施工することができた。

6. 燃料取扱および貯蔵設備の設計、製作

6.1 設備の概要

燃料取扱および貯蔵設備（以下「燃料取扱貯蔵設備」という。）は、炉心燃料集合体、ブランケット燃料集合体、制御棒集合体、中性子遮蔽体等の炉心構成要素（以下「燃料等」という。）を原子炉施設内に搬入してから、原子炉で使用した後の使用済燃料等を原子炉施設に搬出するまで、安全かつ確実に

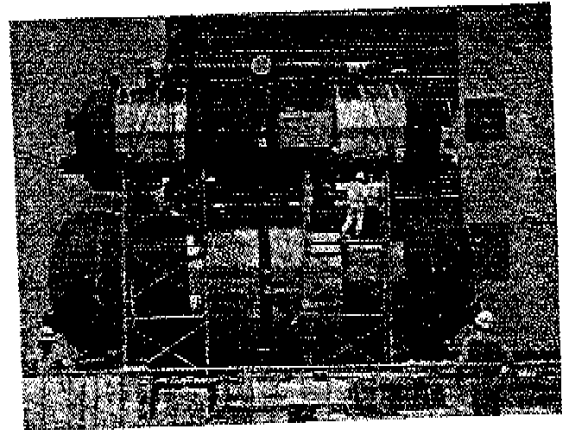


写真16 脱気器据付作業（脱気器貯水タンクの上部に脱気器本体を据付中）

取扱および貯蔵を行うものであり、以下の設備から構成される。

- | | |
|--------------|---------------|
| (1) 燃料交換設備 | (6) 燃料缶詰設備 |
| (2) 燃料出入設備 | (7) 水中燃料貯蔵設備 |
| (3) 炉外燃料貯蔵設備 | (8) 燃料搬出設備 |
| (4) 燃料検査設備 | (9) 新燃料受入貯蔵設備 |
| (5) 燃料洗浄設備 | |

燃料取扱貯蔵設備の鳥瞰図を図15に、燃料取扱ルート説明図を図16に示す。

搬入した新燃料等は新燃料受入貯蔵設備に一時貯蔵し、燃料交換に必要な本数をあらかじめ炉外燃料貯蔵槽に燃料出入設備を使用して移送する。

燃料交換は、ほぼ半年ごとに原子炉を停止し、原子炉格納容器機器搬入口を開放して、原子炉容器と炉外燃料貯蔵槽間で燃料交換装置、炉内中継装置お



写真17 復水器搬入作業（タービン建屋内に復水器本体をころ引きにより搬入）

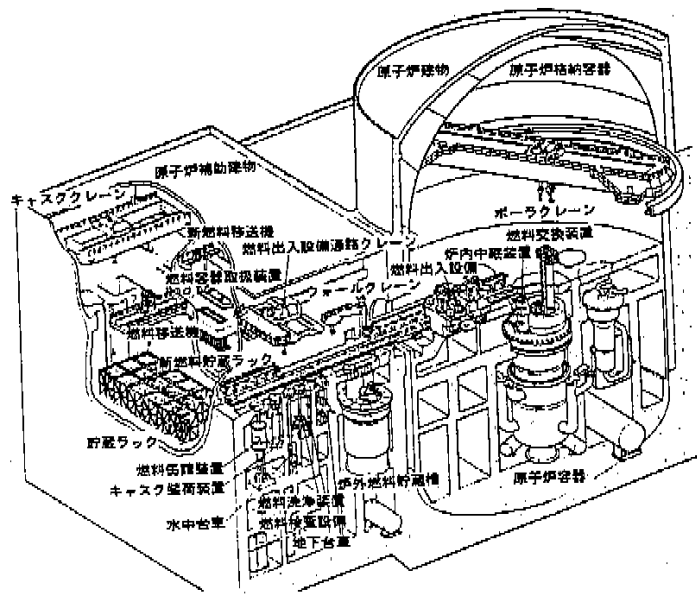


図15 燃料取扱および貯蔵設備

および燃料出入設備を使用して新燃料等と使用済燃料等を1体ずつ交換して行う。

燃料交換1回当たりの交換本数は、全炉心の約1/5を予定している。ただし、当初の間は約1/4を交換する。

原子炉容器から取り出した使用済燃料等は、炉外燃料貯蔵槽で冷却・貯蔵する。炉外燃料貯蔵槽で崩壊熱を除去した使用済燃料等は、燃料出入設備で燃料洗浄設備へ移送し、付着したナトリウムを洗浄し、そのまま、または燃料缶詰設備で缶詰缶に収納して燃料池内の貯蔵ラックで水中貯蔵する。

新燃料および使用済燃料等を受渡する設備は、燃料出入設備の移動が単純になるよう、燃料出入設

備の走行レールに沿って直線的に配置している。

このように燃料取扱貯蔵設備は、多数の機器および駆動系を持った設備から構成されること等により、その運転に当たっては操作室からの遠隔操作で行うとともに運転員数の低減を目指し、すべて自動運転することとしている。写真18に燃取操作室の主制御監視盤を示す。

6.2 設計

「もんじゅ」の燃料取扱貯蔵設備は、使用済燃料の崩壊熱の除去を炉外に貯蔵して行う設計とし、炉外燃料貯蔵槽を原子炉格納容器の外に配置した。ま

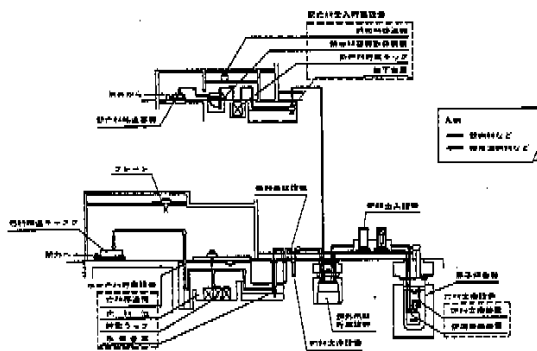


図16 燃料取扱ルート説明図



写真18 燃取操作室主制御監視盤

た、炉内と炉外の燃料等の取扱作業が独立して行えるようにしており、炉内での燃料等の交換、移送は、回転プラグおよび燃料交換設備により行い、炉外では燃料出入設備で移送を行う。

燃料取扱貯蔵設備のうち高速増殖炉特有な設計を要した燃料交換設備、燃料出入設備および炉外燃料貯蔵設備の特徴的な設計についてその概要を述べる。

6.2.1 燃料交換設備

燃料交換設備は、原子炉内で燃料等の移送を行うもので、燃料交換装置と炉内中継装置から構成される。炉内のナトリウム中で燃料等を上下動させることから長尺構造をしており、ナトリウムおよびアルゴンガス中の部材は、ステンレス鋼製としている。

(1) 燃料交換装置

燃料交換装置は燃料交換時に回転プラグ上に据付け、回転プラグの回転動作と連動させて、炉心と炉内中継装置との間で燃料等の移送を行うもので、燃料交換装置本体、昇降駆動装置、燃料交換孔ドアバルブ、ホールドダウンアーム等から構成され、全長は約22mである。図17に燃料交換装置の構造を示す。

燃料交換装置本体は、パンタグラフ方式で燃料交換時にドアバルブよりホールドダウンアーム内に挿入しパンタグラフを開いてセットされ、回転プラグとホールドダウンアームの回転により炉心上部の所定の位置に移動する。

燃料交換装置本体は、昇降駆動装置により上下動し、本体に組み込まれたグリッパおよびグリッパ駆動装置で燃料等のつかみ・離し、引抜・挿入を行う。

ホールドダウンアームは、本体を収納し、回転プラグ上のホールドダウン駆動装置により回転するとともに燃料等の引抜き時にアームを少し下降させることによりアーム先端のグリッパ案内管で周囲の燃料等の浮き上がりを防止する。ホールドダウンアームは、原子炉運転中も原子炉内に設置したままとなることから耐震剛性と熱応力緩和を図った馬蹄形断面の構造とし、外表面には熱遮蔽板を設置している。また、ナトリウムベーパーの上外防止対策等を行い、作動性能の信頼性向上に配慮している。

(2) 炉内中継装置

炉内中継装置は燃料交換時に固定プラグ上に設置し、燃料等を燃料移送ポットに収納した状態で燃料交換装置と燃料出入設備との間で中継移送するもので、炉内中継装置本体、燃料出入孔ドアバルブ、駆動装置、挿入遮蔽体等から構成され、全長は約17m

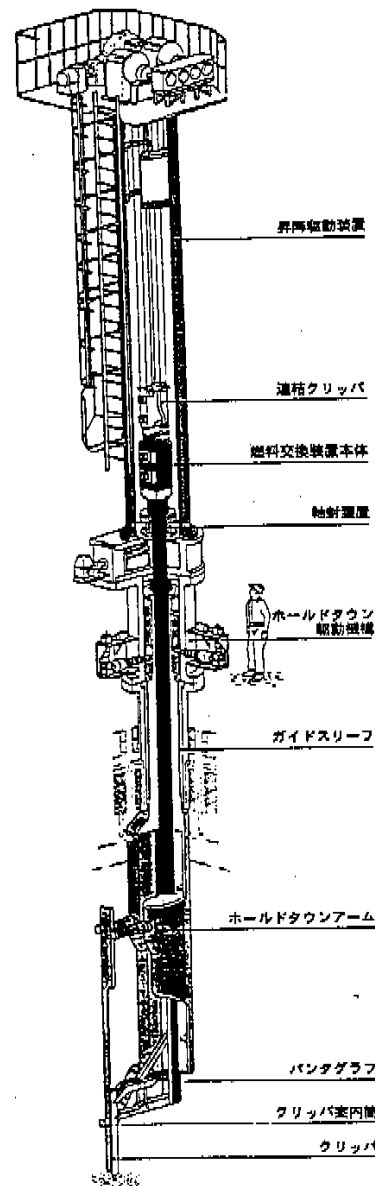


図17 燃料交換装置

である。

炉内中継装置本体は、燃料移送ポットをつかんだ燃料出入設備のグリッパをガイドし、下部のラックに燃料等の入った2体のポットを収納する。

燃料交換装置から使用済燃料等を、燃料出入設備からは新燃料等を受取り、遮蔽プラグ上の駆動装置でラックを回転し、燃料出入設備へ使用済燃料等を、燃料交換装置には新燃料等をそれぞれ渡す。

燃料交換設備はナトリウム中で使用することから

表6 燃料交換設備のR&D項目

1. バックグラフ機開閉試験	7. 燃料切替試験
2. 燃料交換装置機械試験	8. 軸封装置開発試験
3. 燃料交換装置耐久試験	9. 燃料交換装置分解点検
4. 燃料交換装置洗浄試験	10. ホールドダウンアーム構造健全性試験
5. 燃料交換装置着脱試験	11. セルフオリエンテーション試験
6. 燃料交換装置位置検出動作試験	12. 炉内中継装置開発試験

フルモックアップ試験を実施し、ナトリウム中での駆動部の信頼性、取扱性能等を確認し、その成果を設計、製作に反映している。表6に燃料交換設備の主なR&D項目を示す。

6.2.2 燃料出入設備

燃料出入設備は燃料交換時における炉内と炉外燃料貯蔵槽間の燃料等の移送、原子炉通常運転中における炉外燃料貯蔵槽への新燃料等の移送および炉外燃料貯蔵槽からの使用済燃料等の取り出し、燃料洗浄設備、燃料缶詰設備、水中燃料貯蔵設備への移送、受渡しを行う。

ナトリウムが付着した燃料等を取り扱う本体A、ナトリウム洗浄後の使用済燃料等を取り扱う本体B、移送中の使用済燃料等を冷却する冷却装置およびこれらの機器を搭載して走行する走行台車、燃料移送ポットから構成され、全高約8m、重量約370tである。

走行台車は燃料取扱貯蔵設備の配置と燃料等の移送を考慮し、直線走行する。また、高い耐震性を持たせるため走行レールを抱え込む構造としている。図18に燃料出入設備の構造を示す。

本体Aは燃料等をつかむグリッパ、グリッパ駆動装置、コフィン、ドアバルブ等から構成され、気密性の容器を形成している。グリッパおよびグリッパ駆動装置は、2対テープ巻取方式とし、装置の小型

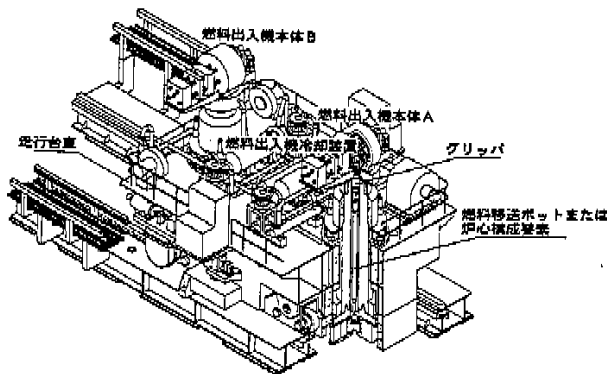


図18 燃料出入設備

化を図るとともに2重ハンドリング方式により、燃料、燃料移送ポット等を取り扱う。

本体Bもほぼ同じ構造である。

ドアバルブは燃料等の受渡しをする設備と接続するもので、可動ブロックと一体で上下して接続・切り離しをする。ドアバルブにはドリップパンが取付いてあり、燃料等から移送中に滴下するナトリウムを受ける。

本体Aのグリッパはナトリウム中およびアルゴンガス中で使用することからR&Dを実施して機構部の確実な作動と信頼性を確認している。

炉内と炉外燃料貯蔵槽間の使用済燃料等の移送は、ナトリウムの入った燃料移送ポットに入れて本体Aで移送するが、燃料移送ポットを収納したコフィンを空気で冷却して使用済燃料等からの崩壊熱を間接的に除去することとしている。また、炉外燃料貯蔵槽から燃料処理設備への移送の際は使用済燃料等をアルゴンガスで直接冷却する。

燃料洗浄後の移送は本体Bで行うが、本体Bでは空気で直接冷却する。このような冷却装置の設計にあたっては、R&Dを実施して冷却性能に十分な余裕があることを確認している。表7に燃料出入設備の主なR&D項目を示す。

6.2.3 炉外燃料貯蔵設備

炉外燃料貯蔵設備は、炉心へ装荷する新燃料等および炉心から取り出した使用済燃料等をナトリウム中で中継・冷却貯蔵するもので炉外燃料貯蔵槽、炉外燃料貯蔵槽冷却系設備、炉外燃料貯蔵槽内のナトリウム液位・純度を維持する補助ナトリウム系設備、槽内のナトリウム表面を覆い空気との接触を防止するアルゴンガス系設備等から構成される。

(1) 炉外燃料貯蔵槽

炉外燃料貯蔵槽は燃料貯蔵容器、回転ラック、遮蔽ブラグ、案内装置、外容器、床ドアバルブ等から構成される。図19に炉外燃料貯蔵槽の構造を示す。

燃料貯蔵容器は上部をフランジで支持するたて直円筒型のステンレス鋼製容器で、胴内径約6m、高さ約9m、最高使用温度300℃、圧力1.5kg/cm²であ

表7 燃料出入設備のR&D項目

1. グリッパ機能試験
2. 直接冷却系送風性能試験
3. グリッパテープ試験
4. 直接冷却系冷却性能確認試験
5. 間接冷却系冷却性能確認試験
6. 燃料移送容器放射傷耐面開発試験
7. 改良型ドアバルブ機能確認試験

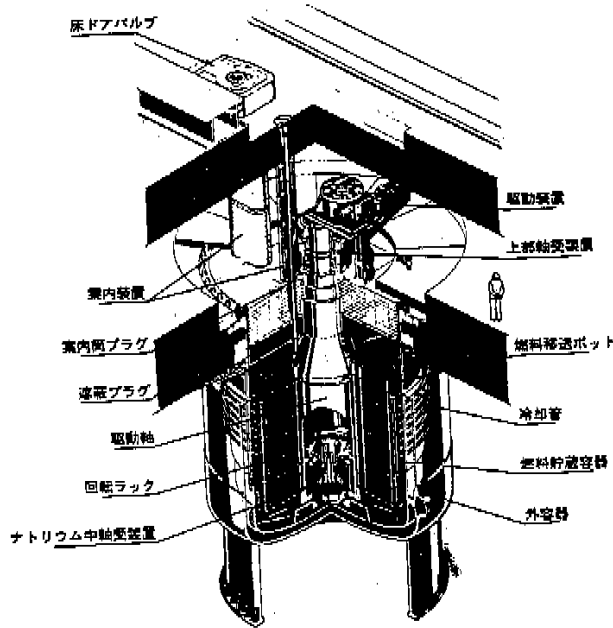


図19 炉外燃料貯蔵槽

り、内部に回転ラックおよびナトリウム冷却配管が設置されている。

回転ラックは燃料等約250体の貯蔵容量を有しており、6列同心円上の貯蔵ポジションに燃料移送ポットが収納されている。下部にナトリウム軸受を有し、遮蔽プラグ上の駆動装置により回転して、案内装置の6本の案内管と各列の貯蔵ラックが位置決めされる。

遮蔽プラグは炉外燃料貯蔵槽のカバーガスバウンダリを保持するとともに回転ラックおよび燃料等の荷重を支持し、貯蔵する使用済燃料等からの上方への放射線を遮蔽する。

案内装置は6本の案内管からなり、床ドアバルブを介して燃料出入設備と接続して、回転ラックとの間をガイドするもので、直線配置としている。

炉外燃料貯蔵槽の耐震性および回転ラックのナトリウム軸受の健全性についてR&Dを実施し、設計、製作に反映している。

(2) 炉外燃料貯蔵槽冷却系設備

冷却系設備は独立した3ループから構成される。

図20に冷却系系統図を示す。使用済燃料等からの崩壊熱は、燃料貯蔵容器内に設置したコイル状の冷却管により、容器内のナトリウムと熱交換して空気冷却器から大気へ放熱することとし、2ループで崩壊熱を十分に除去できる設計としている。容器内のナトリウムは自然循環式としており、コイル状冷却

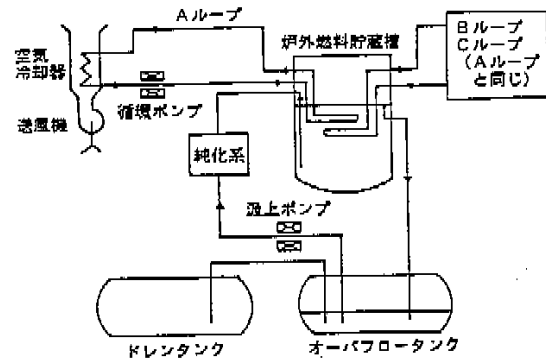


図20 冷却系系統図

管との組合せによる冷却性能については、R&Dにより確認している。表8に炉外燃料貯蔵設備の主なR&D項目を示す。

6.3 製作・据付

燃料取扱貯蔵設備の製作にあたっては、R&Dの結果を反映するとともに部品、組立等の各段階で外觀、寸法、作動等を確認し、工場では仮組立を行い製作精度の確認をするとともに、制御盤等と組合せて試験を実施し、作動性能、位置決め性能等を確認した。

また、駆動機構が多い精密機械であることから、製作、据付を通して清浄度管理、異物管理等を実施した。

6.3.1 燃料交換設備

燃料交換設備は大型の精密機械であり、製作、組立てに際しては部品段階、組立段階の各ステップで寸法等を確認し、組立精度の確保に努めた。

また、工場において仮組立てし計算機、制御盤と組合せ、性能試験を実施した。

据付けはホールダウンアームを長円形プラグと一体で回転プラグに吊込んだ後、駆動装置、本体を順に据付けた。これらの据付けでは、インロー、ピン、ケガキ合わせにより据付誤差の低減を図った。

表8 炉外燃料貯蔵設備のR&D項目

1.	炉外燃料貯蔵槽耐震試験
2.	炉外燃料貯蔵槽水流動試験
3.	回転ラックB,C遮蔽体試作試験
4.	遮蔽プラグコンクリート遮蔽体試作試験
5.	回転ラック軸受ナトリウム中試験

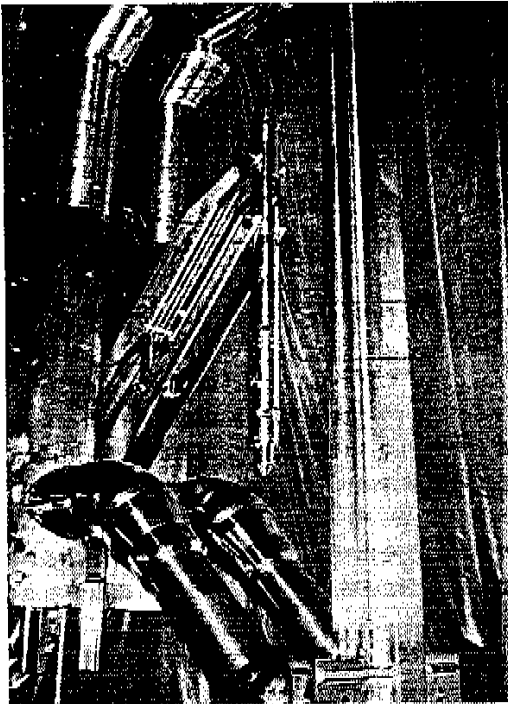


写真19 燃料交換装置据付状況

写真19に燃料交換装置の据付状況を示す。

据付後、単体機能試験を実施し炉心構成要素の取扱性能を確認した。

6.3.2 燃料出入設備

精密機械であることから、製作にあたっては各部品ごとの寸法および外観検査、組立てステップごとの寸法等の確認をしながら製作精度の向上に努めた。

また、工場において仮組立てを行い、取合寸法の確認、性能動作試験を実施し、所期の性能を確認した。

据付けにあたって最も留意したことは、約80mにわたって直線走行する燃料出入設備と燃料等の受渡しを行う各設備との取り合い精度の確保であった。

据付時期が異なり、かつ、据付基礎レベルが異なる設備上を同一の床レベルで直線走行する燃料出入設備と芯合せするため、統一した基準芯および基準レベルを設定し、各設備の据付けを行った。その結果、取合いを十分満足する据付精度が確保できた。また、据付け後の単体機能試験により、炉心構成要素の取扱機能を十分満足することを確認した。写真20に燃料出入設備の据付状況を示す。

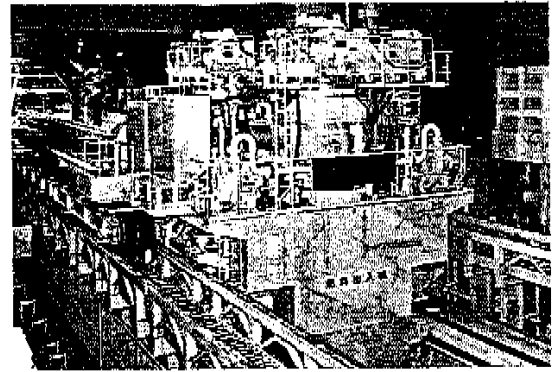


写真20 燃料出入設備据付状況

6.3.3 炉外燃料貯蔵設備

炉外燃料貯蔵槽は、大型構造物であり、かつ、燃料出入設備との取合い、回転ラック位置決め性能等を確保する上で、高い製作精度を必要としたことから、構成部品間の取合い部は、大型の工作機械により高精度に加工した。特に高い取合い精度が必要な部分は、先に製作、据付けた部材の寸法計測結果を反映して、次に取合う部材の加工を行い所定の寸法精度を得ることができた。

遮蔽プラグは、非桁構造の形状であるため溶接変形を防止する目的から縮尺モデルを用いて、製作手順等を確立し製作した。

回転ラックと遮蔽プラグは、工場では仮組立てし、回転ラックの位置決め精度等の動作性能試験を実施した。

据付けは燃料出入設備との統一基準芯をもとに行った。また、ナトリウム機器であることから製作、据付けを通して清浄度管理に特に配慮した。

据付け後の単体機能試験により、燃料出入設備との十分な取合い精度および所定の回転ラック位置決め性能を確認した。写真21に燃料貯蔵容器の据付状況を示す。

6.4 まとめ

工場における組合せ試験による作動性能の確認、慎重な据付け、さらに単体機能試験での模擬燃料体等の取扱試験等により、各設備とも高い精度で据付けられており、各機器単体の作動性能、各設備との燃料出入設備の位置決め、燃料等の取扱、受渡し、移送、気密性等の各機能を満足していることが確認された。この結果から設計上要求される性能を満足する見通しが得られた。

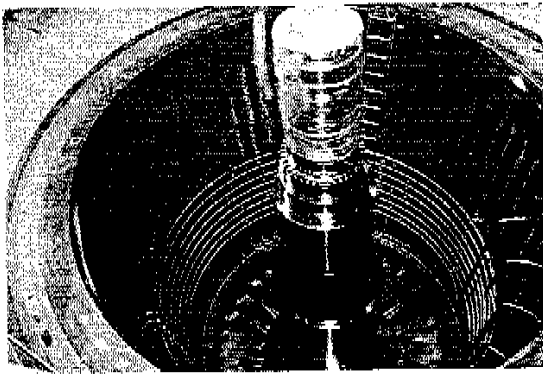


写真21 燃料貯蔵容器据付状況

7. おわり

本報では、「もんじゅ」として特徴を有する機器について建設段階における成果をまとめた。「もんじゅ」の主要設備には、液体金属ナトリウムやナトリウムベーパーと接触する機器が多く、運転温度が

高いことから、ステンレス鋼が多く使用され、大型で薄肉構造のものが多い。したがって、設計においては高温強度の確保、製作においては変形防止、高精度の加工、輸送および据付けにおいては清浄度管理の観点から十分な検討と配慮や工夫を行った。その結果、据付けは予定通り平成3年4月末に完了することができたとともに、FBRの実用化に向けて発電規模での機器の設計、製作および据付けが適切であったことを「もんじゅ」の建設を通して確認することができた。

約5年半の期間にわたり、参加会社400社以上、工事量累積約400万人・日に及ぶ大工事が計画通り遂行できたことは、工事従事者のたゆまぬ努力の成果であり、また、関係各位のご指導の賜物であり、深く感謝申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 動燃技報No.79, p36-47 (1991.3).