

「もんじゅ」用燃料交換機のナトリウム中試験について

石井陽一郎・増田陽一・片岡一*

1. まえがき

液体金属冷却型高速増殖炉の燃料取扱システムにおいて、燃料交換機(FIM)はプラント高木設計に与えるインパクトが大きく、また未知の分野が多かったために他のナトリウム中実機機組とともに設計が急がれてきた。

原型炉「もんじゅ」では、燃料交換方式としてネットセル方式、アンダーグラフ方式の検討を行い、また燃料交換機として単面型アンダーグラフ方式、単面型アンダーグラフ方式、二面型アンダーグラフ方式、三面型アンダーグラフ方式、その他について昭和43年より概略設計を行うとともに、44年には原型炉1次設計と相まって海外の燃料交換システムの調査を行った。これらの検討を経て、「常陽」と同じくアンダーグラフ方式に決定し、単面型アンダーグラフ方式の小型で、原型型として要求される稼働率・使用性、運搬性、保守性、信頼性を満たすとともに、実証炉への外挿性を考慮して、単面型アンダーグラフ方式に決定し、本方式での概略設計を46年に行った。燃料交換機の機能上押に注意すべき点は、ナトリウム温度は低い(約300℃以下)とはいえ、長尺物で外から見るとのどろろと見える。しかもナトリウム中での腐食性(燃料交換機内を除く)と耐久性が要求されることである。この点で本質的に海水圧と異なり難しがある。かかる観点から高速増殖炉にあたっては国外でも燃料交換機を含む燃料取扱系機器のモックアップ装置により試験を行っているが、当事業団としても開発を急ぐこととし、46年にパンダグラフ機構を試作の上、大気中、ナトリウム中試験を行い、ついで「もんじゅ」単面型アンダーグラフ方式の燃料取扱系機器(燃料交換機)を49年に大気中試験センターに据付けた。この試験装置は、燃料交換機試験機、燃料調整装置(RM)、洗浄装置、ループ、その他の附属装置よりなり、ナトリウム中試験機試験機(第一試験室)の東側に増設して設置された。50年に燃料交換機モックアップ試験が行われた。ここに大気中の試験の状況、結果、発見の一端を紹介するものである。

2. 「もんじゅ」で要求される燃料交換機の機能

2.1 燃料取扱システム

「もんじゅ」の燃料取扱は約6ヶ月間隔で行われ、原子炉運転を停止したあと、通常・稼働末を含め約1ヶ月の間に炉心燃料とアンダーグラフ燃料の約20~30%の不能を交換する。その燃料交換手順を図1に示す。この燃料交換期間中、炉内では単面型アンダーグラフ方式の燃料交換機によって炉心燃料調整が炉内中継装置(燃料調整機)の間、燃料調整機から炉心燃料調整機へ移動して炉心燃料調整機に格納される。燃料調整機は炉心燃料調整機に格納された炉心燃料調整機の移動が行われる。燃料取扱システムの概念を図2に示す。燃料取扱機は炉内燃料調整機と燃料調整機は、原子炉運転中に行われる。「常陽」の燃料取扱システムとの大きな相違点として、「常陽」では燃料交換機が二面型アンダーグラフ方式であり、使用済燃料は炉内燃料調整機で突然炉心燃料調整機に貯蔵され、また燃料調整機内への移動はトランスフェロ

* ナトリウム技術部ナトリウム機器構造課

動力炉技術No.33 1980.3

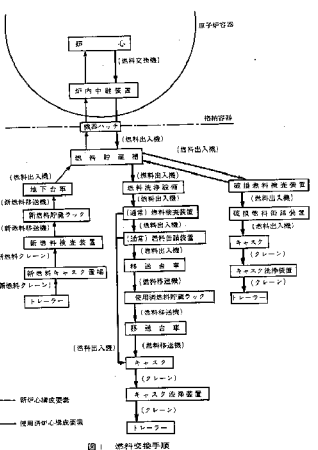


図1 燃料交換手順

ータを用いて行われるなどがある。これらの点から、「もんじゅ」では燃料交換機時間の短縮などにメリットがある反面、交換機と出入機に腐蝕・構造の追加がある。

2.2 燃料取扱機試験機

(1) 燃料交換機

本ナトリウム中試験機に用いられた燃料交換機は、「もんじゅ」2次設計にもつき試作された実物大原型である。その主要機能を図1に、また主要部を図2に示す。燃料交換機の構成は

次のものからなる。本体機構として、燃料のつかみ渡しを行い、燃料位置感知機構を内蔵するグリッパ、グリッパを保持し、また炉外に取り出すためにグリッパ部を折りたたむためのパンダグラフ機構、グリッパを上下させる上下動機構、その他ケーシング等がある。また、グリッパおよび上下動機構をガイドし、任意の方向に回転し、交換燃料の周囲の燃料を機械的にホールドリルで削る機構を有する常時炉内にある回転機構がある。本機は詳

動力炉技術No.33 1980.3

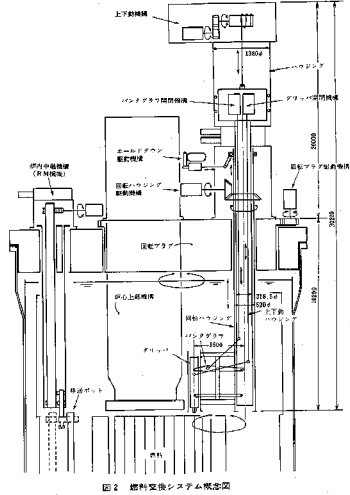


図2 燃料交換システム概念図

常に帯状の形状に加えアーム長さ1.6mのパンダグラフ機構を有するため、燃料を調整機に供給するための動作の遅延と燃料の貯蔵が重要な点の1つである。「もんじゅ」燃料交換機は、製作開始設計(注)までに、パンダグラフ折りたたみ機構に備えられた後期折りたたみ機構が追加され、調整機燃料調整機ケーシングが削除されるなどの変更が検討されているが、全体構

造は同図で、本試験の成果は十分其機に反映されるものである。(2) 燃料調整装置 本試験機では、燃料調整装置(RM)を備え、下部にグリッパを保持して燃料入りボットを任意の角度に回転できるようにしている。この装置は「もんじゅ」実機に同一のものはなく、実機炉内中継装置と燃料調整機の各部分機構を付

動力炉技術No.33 1980.3

せ持ったものである。

(3) 燃料切り離し装置 (SM)

本装置は、燃料交換機が燃料をつかんだ状態

表1 燃料交換機に要求される基本機能

a)	回転プラグの回転と連動して炉心構成要素を炉内で移送し、燃料交換機グリッパを所定の場所に位置決めする機能
b)	炉心構成要素を爪でつかみ、離す機能
c)	炉心構成要素1体を吊上げ、挿入する機能
d)	炉心部から炉心構成要素を吊上げる際に、周囲の炉心構成要素の浮上りを防ぐ機能

で、切り離し困難になった場合を想定して、グリッパ頂部に結合し爪駆動ロッドを引き上げ強制的にグリッパ爪を閉じさせるためのものである。この燃料切り離し不能時には、バンタグラフ機構が折りたためなくなり、燃料交換機の引抜きが困難な作業となることから、特に燃料切り離し装置が用意されている。

3. 試験装置概要

3.1 ナトリウム試験装置

「もんじゅ」用として試作された燃料交換機のナトリウム中試験装置は、図3に示すとおり大別して試験容器のナトリウムを循環する主循

表2 試験体設計主要目

種別 項目	燃料交換機		燃料 回転装置	燃料 切り離し装置	
	燃料交換機本体	回転ハウジング			
全長	最大長：30200mm 回転プラグ上：20000mm	11800mm (駆動部含む)	挿入時：33299mm (ポット含む)	9213mm	
胴外径	ケーシング：1380mm 上下動ハウジング： 350mm	640mm	ケーシング：700mm 上下動ブラケット： 267.4mm	114.3mm	
上下動機構	駆動方式	モータ駆動・ワイヤロープ巻取ドラム カウンタウエイト付	パワーシリンダ駆動 (2台)	モータ駆動 ワイヤロープ巻取 ドラム	手動操作 ボルトーナット方式
	ストローク	取扱時：4295mm 収納時：12700mm	50mm	14970mm	80mm
	駆動速度	3 m/0.3m/min	0.2m/min	—	—
	駆動力	挿入・引抜き力：1 t	—	—	1 t
回転機構	—	バンタ旋回； モータ駆動 旋回速度1/0.1rpm 停止精度0.1°	回転駆動：パワーシリンダ ポット：180°反転	—	
バンタ開閉機構	モータ駆動 ストローク：1385mm 開閉時間：約3 min	—	—	—	
グリッパ開閉機構	モータ駆動 ロッドストローク80mm	—	—	手動 ロッドストローク45mm	
感知機構	ストローク：35mm リミットスイッチ内蔵	—	—	—	
許容偏心量	±20mm	—	—	—	
概略重量	約35 t		約15 t	—	



写真1 試験容器内に見た燃料交換機

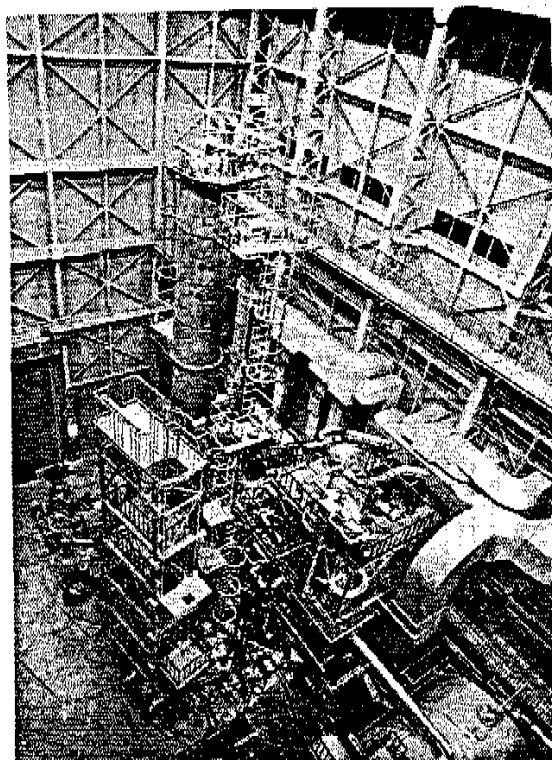


写真2 燃料交換機試験装置全景

環系、系統のナトリウムを精製する精製系、主循環系とダンプタンクを結ぶ供給排出系およびガス系で構成される。

循環流量は最大1450ℓ/min、ナトリウム温度は最高540°Cで実機条件を満たしている。精製系は、強制空冷式設置円筒型のコールドトラップと可変オリフィス式空冷型のプラグイング計からなり、溶存酸素換算で10ppm以下のナトリウム純度を保持できるようになっている。ガス系は-1~0.9kg/cm²Gまでの加圧と真空引きが可能である。試験容器内部には、図4に示すとおり模擬炉心（実寸大燃料集合体19本）、貯蔵ラック（6本）、模擬ポット（1本）があり、燃料交換機を据付け所定の試験が行えるようになっている。なお、本装置の特徴としてダンプタンクが床にあり、試験容器が床下（ピット内に収納されている）に設置されている。ナトリウム量は約71.3tである。

3.2 洗浄装置

本装置は燃料交換機のナトリウム中試験終了

後、付着したナトリウムをアルコールで洗浄して除去するもので、図5に示すように洗浄タンクのアルコールを循環する循環系、アルコール中の不純物（主に固形物）を捕獲するフィルターおよび循環系とアルコールタンク（またはアルコール廃液タンク）を結ぶ供給、排出系とガス系で構成される。

循環流量は最大20ℓ/min、アルコール量は約2340ℓで変性アルコールを使用している。洗浄度確認法は、電導度計測で常時行い洗浄完了の確認を行う。ガス系は-1~1.8kg/cm²Gまでの加圧と真空引きが可能である。洗浄中に反応生成される水素ガスは、フレイムアレスタを通過して窒素ガスで希釈したのち大気放出される。また、洗浄効果を促進させるために窒素バブル操作が可能である。

4. 工程

燃料交換機および燃料回転装置は、昭和49年に製作を完了し、引き続き製造メーカー工場内

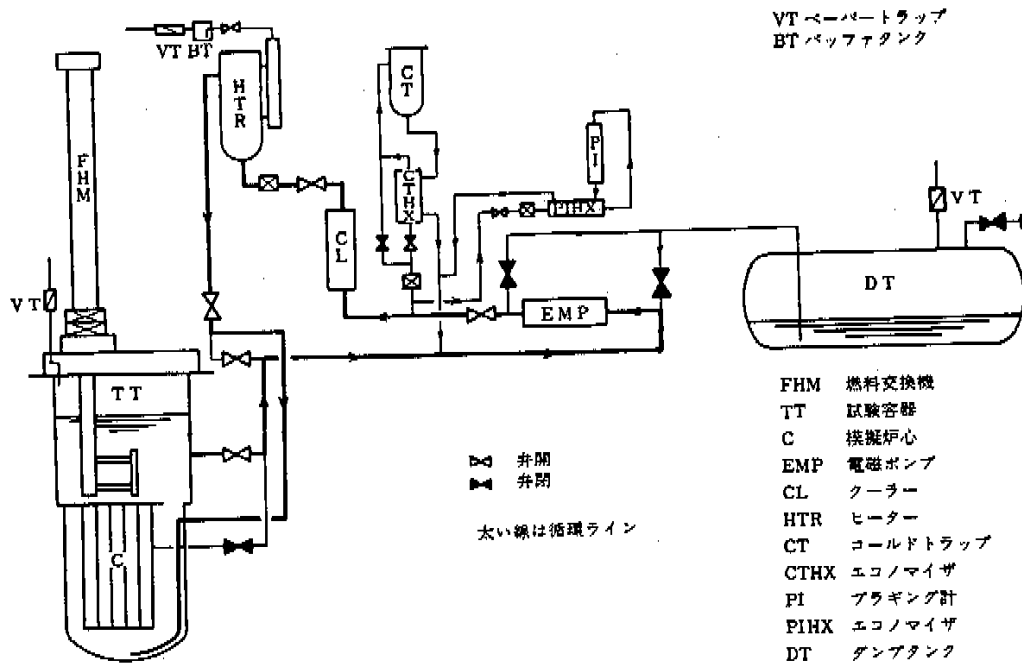


図3 燃料交換機ナトリウム中試験装置

において単体での調整試験が行われた。その後、ナトリウム中試験を実施するために当試験室に搬入され、ここではまず最初に試験装置と組み合わせた大気中試験が実施された。この時点では、まだ試験容器内にナトリウムが一度も充填されていないため、試験員の容器内への立ち入りが可能であり、燃料交換機の複雑な動作を目視で確認しながら、入念に総合的な調整試験が行われた。ナトリウム中試験は昭和50年から開始され、初期の段階では主として設計仕様を満足するかどうかの性能を確認するための各種試験が行われ、ついで耐久試験が行われた。一方ナトリウム中試験を経験するに従ってさまざまな知見が得られ、若干の不具合も発生した。これらについて、軽微なものは直ちに修復されたが、未知の事項については新たに試験テーマとして取りあげられた。試験の区切りおよび不具合が発生した時点では、付着ナトリウムの洗浄が行われたあと、分解点検を実施して機構の健全性を確かめながら試験が進められた。最終的に燃料交換機および燃料回転装置の試験は、部品の破壊検査も含む総合分解点検を行って、昭

和55年3月に終了される予定である。試験の実績工程を表3に示す。

5. 試験項目とその結果

一連の開発試験につき今までに得られた主な成果を次に記述する。ナトリウム中試験の場合、試験条件は各試験の目的により変化させた場合もあるが、おおむねナトリウム温度は 200°C 、ナトリウム純度はブラギング温度で 150°C 前後、循環ナトリウム流量は 1260 l/min 、カバーガス圧力は $100\text{--}400\text{ mm Aq}$ の条件下で行われた。

5.1 機能試験

(1) 位置決め精度の確認試験

炉内におけるグリッパの位置を決定するための回転プラグ回転動作およびパンタグラフアーム旋回動作について、その停止精度をみると大気中試験時の停止精度と大差なく、設計値 ± 0.1 度を満足していることが確認された。また、燃料とグリッパとの相対的な位置ずれを調査するために、燃料上に座標を仮想し計算によってグリッパをわざと偏心させ、各偏心位置でハンドリングヘッド内にグリッパを挿入し、挿入でき

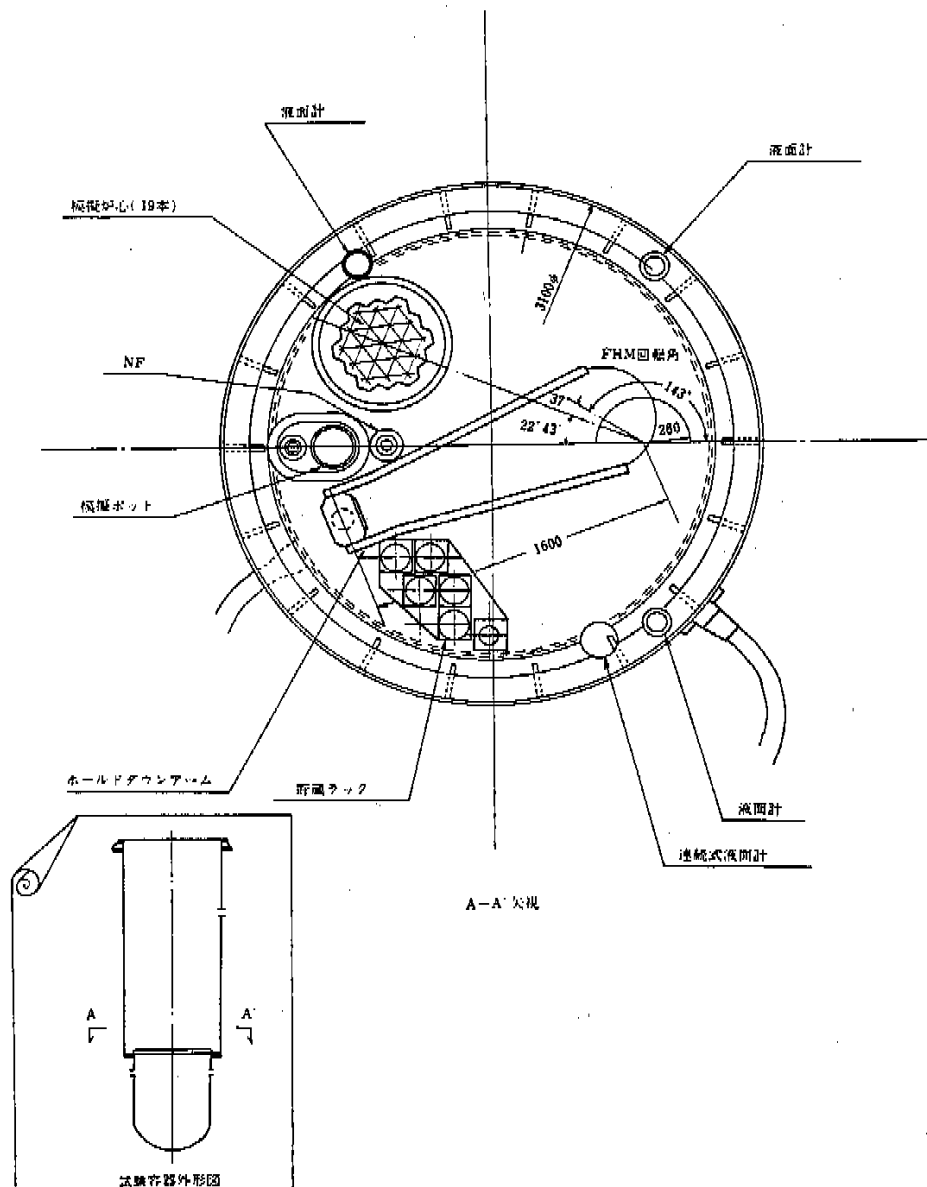


図4 試験容器平面図 (A-A' 矢視)

る範囲のパターンの変化から位置ずれを知った。全試験期間中の適当な時期にこの方法を用いて試験が行われ、試験容器側および燃料交換機側に有害な変形や位置表示器の誤差などが生じていないことが確認された。

(2) 燃料挿入、引抜き試験

肝心の燃料挿入引抜き試験が、正常燃料および30mm、35mm湾曲燃料を用いて行われた。ここで湾曲燃料とは、正常燃料に対しスエリングを

模擬した形状の燃料であり、集合体中心線から燃料頂部の中心がそれぞれ30mm、35mmずれているなめらかな曲がり方をした燃料である。結果はきわめて良好であり、上下動荷重の増加もちょうど燃料の自重(200kg)分だけであった。また正常燃料と湾曲燃料とによる取扱い上の差は認められなかった。

(3) 偏心動作試験

グリッパと燃料とが位置ずれをおこした場合

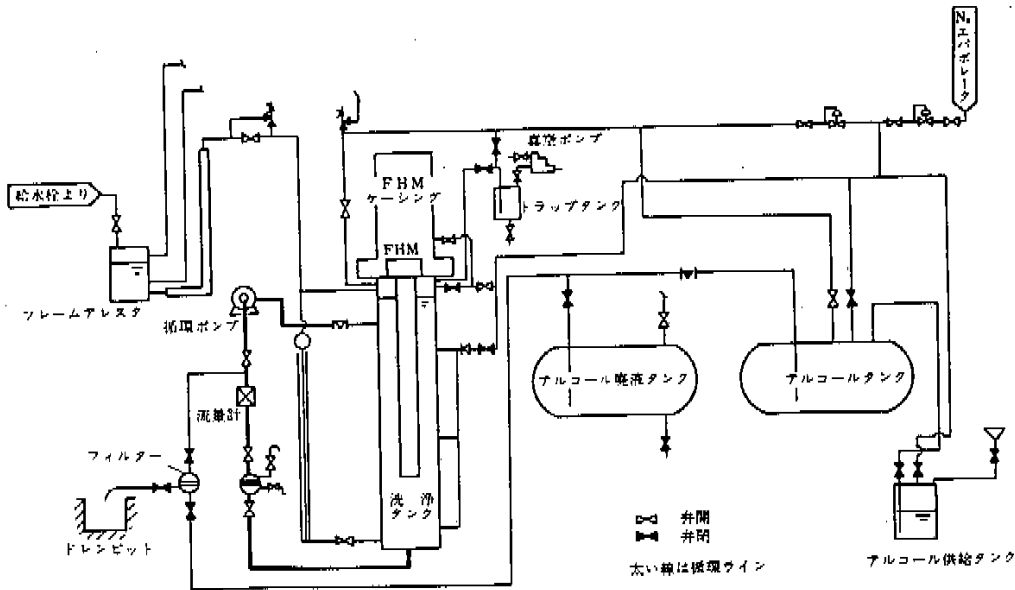


図5 燃料交換機洗浄装置系統図

表3 試験実施項目およびスケジュール

区別	項目	年月	昭和50年				昭和51年				昭和52年				昭和53年				昭和54年				55
			12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	
FHM	機能試験 (位置決め、セルフオリエンテーション、 偏心動作試験、等)		[工場調整]				回転ハウジングトルク異常				FHM暴走												
	耐久試験																						
	省洗浄試験																						
	切離し試験																						
	シール機構開発試験										(空割型) [改良型]												
RM	機能試験																						
	耐久試験																						
	洗浄試験		[FHM] [RM]								[5%含水] [10%含水]								マークIIグリッパ 単体洗浄試験				
	分解点検																		[グリッパ交換]				[総合分解]

注記) 1. 記号説明
 2. 洗浄方法
 3. 実施場所

[] 大気中試験 [斜線] ナトリウム中試験
 主として変性エチルアルコールによる循環洗浄
 動燃大洗工学センターナトリウム機器構造試験室

(FHM: 燃料交換機)
 (RM: 燃料回転装置)

に燃料取扱いができるかどうかを確認する試験であり、正常燃料および35mm湾曲燃料を用いて行われた。ここでは設計偏心量±20mmを与えても何ら問題なく取扱いのことがわかった。また正常燃料と湾曲燃料とによる差は認められ

なかった。

(4) セルフオリエンテーション試験

炉心から燃料を引抜いた場合、当然そこには六角形の穴が残るが、次の燃料の挿入角度がずれていても旨く装荷されるようにする必要があ

る。セルフオリエンテーション試験は、このために行うもので穴と燃料との相対的な角度を変え(回転角は燃料回転装置によって与えられる)、燃料に設けられたセルフオリエンテーション機構がうまく機能するかどうかを確認する試験で、正常燃料および30mm、35mm湾曲燃料を用いて行われた。ハンドリングヘッド部の機構の形状は六角形の一面を横から見た場合△型をしているところから、30度分について試験すれば良く、結果は15度のセルフオリエンテーション角度度ではいずれもスムーズに回転して良好であった。しかし30度の角度を与えるとキーが△型機構の頂部に乗ってしまい、または頂部からわずかに外れても隣のキーが反対方向の回転をする斜面上に乗ってしまい(燃料同士の間にはギャップがあり、穴の六角の方が大きいので、ギャップを無視して作図した時のような理想的な回転はしない)、挿入時のタイミングによってはうまく回転しないケースもしばしば生じた。この他、燃料設計担当各社アイデアを出し合った結果、六角の一面を横から見た場合△型をした形状の機構(キー側も改良されている)も考案された。これはメーカー工場で行った大気中試験では良好な結果を納めたが、ナトリウム中ではなお30-45度の範囲でうまく回転しないケースがあった。結局大気中でうまくいったところから、外周燃料の数の違いや、グリッパガイド方式の相違等、試験装置の違いが影響するのだろうとの結論に至った。しかし、セルフオリエンテーション不可の角度があるにしても、一度引抜いて再び挿入すればセルフオリエンテーションすることが明らかとなった。

(5) ナトリウム流れの影響調査

ナトリウムの流れが燃料交換機の動作や停止位置精度に影響を与えるかどうかを確認したもので、循環ナトリウム流量が1260 l/minの場合と0の場合とでそれぞれ燃料取扱い動作を行ったが、両者に差はなくナトリウムの流れは燃料交換機の動作および精度に影響を与えないことがわかった。

(6) 温度特性試験

実機の燃料交換温度が決定されていなかった

ため、予想されるナトリウム温度の範囲でそれぞれ燃料取扱い動作を行い、影響の有無を確認した。試験は150°Cから280°Cの範囲で行い、熱膨張差で生じる燃料とグリッパとの相対的な位置ずれが発生したほかは、各機構の動作に顕著な変化はみられず、正常に燃料取扱い動作が行えた。なお位置ずれは問題となるほどの量ではなかったが、一応番地を修正して、偏心0mmで試験された。

以上の試験を通じて、燃料交換機および燃料回転装置の基本的な性能が確認された。これは当初燃料交換機および燃料回転装置に期待した性能を十分に満足するものであった。一方若干改良すべき点もみつきり、その一つとしてリミットスイッチの応差の問題が挙げられる。たとえばグリッパ先端についている感知機構の信号は、回転プラグの上までロッドで機械的に伝達されたあと、初めてリミットスイッチにより電気信号に変換される。この時スイッチのON-OFF感度が良すぎると、ロッドの微妙なたわみなどによっても簡単に信号が喪失してしまう。結局モックアップでは応差の大きいリミットスイッチに交換された。またバンタグラフアームの開閉機構にはロッドの伸び差を吸収する装置が必要であるとわかった。これは伝達経路の長さが他の機構と異なり、ナトリウム温度が変わると熱膨張差が生じてしまうという現象である。制御盤上の設定器の値を温度によって変えるという運転上のテクニックでも逃げることは可能であるが望ましい解決策ではなく、実機では伸び差吸収装置が考慮されている。その他、シール機構に不具合のあることがわかり、その後シール機構開発試験へと発展した。時おり実施した洗浄、分解点検の経験からは、特にグリッパ内部が十分に洗浄できないことがわかり、付着ナトリウムを減少させる目的で積極的に孔や溝およびギャップを設けたマークIIグリッパが製作され、単独洗浄試験が実施された。

5.2 耐久試験

実機の燃料交換モードを模擬した燃料移送モードで1000サイクルの耐久性が確認された。これは実機の4.25年分の燃料取扱い本数になり、

期間中各機構の特性にも顕著な変化は認められず、十分に丈夫であることが確認された。1000サイクルのうち約350サイクルは、マークIIグリッパを使用して消化された。途中電気系のトラブルにより燃料交換機の停止不良があったが、本体への損傷はなかった。電気系保護回路の故障は、実機では十分対策し得るものであるが、接点協調、タイミング、それに妥当な多重性などには十分に配慮する必要がある。燃料回転装置の回転動作の耐久試験は10,000サイクル行われ、その耐久性が確認された。

5.3 洗浄試験

燃料交換を円滑に行うためには、使用期間外の保管ないし洗浄は重要な要素である。グリッパの洗浄性能を増すため、強度上問題にならない箇所に積極的に孔や溝およびギャップを設けると、付着ナトリウムのドレン性および洗浄性が大幅に向上することがわかった。まず、燃料交換機の全体洗浄の結果を表4に示すが、その結果、明らかにされたことは次のとおりである。

- (1) 1回の洗浄で除去できたナトリウム量は、1000-3000グラムであり分解点検時に除去されたナトリウム量を加えると燃料交換機にド

レンできずに付着していたナトリウム量は、千数百~三千数百グラム程度と推定される。

- (2) 洗浄終了時で一見きれいに洗浄されたように見えても、その後の大気中動作試験ではグリッパ爪開閉動作、感知機構動作が不良であった。分解点検の結果、マークIグリッパの内部摺動部に未洗浄ナトリウムが数百グラム認められた。グリッパをマークII型に交換した結果、若干動作荷重は重いながらもとにかく大気中で動いたし、摺動部に未洗浄ナトリウムもほとんど認められなかった。

またマークIIグリッパ単品を使って洗浄試験を実施した結果、一番良く洗浄できたのはスチーム洗浄であり、100%アルコールと20%含水濃度までのアルコール洗浄とでは顕著な差が認められなかった。いずれの場合でも分解なしにはネジ部などの微細間隙の洗浄は不可能であった。

単独洗浄試験の結果を表5に示す。

5.4 省洗浄試験

次期燃料交換まで、燃料交換機に付着したナトリウムを洗浄せずに保管し、そのまま再使用できるかどうかを調査する省洗浄試験が行われ

表4 燃料交換機全体洗浄結果

項目		回									
		1 (S50.12)	2 (S51.6)	3 (S51.10)	4 (S52.1)	5 (S52.5)	6 (S53.7)	7 (S53.11)	8 (S54.2)	9 (S54.11)	
		マークIグリッパ					マークIIグリッパ				
付着条件	ナトリウム中浸漬時間(d)	1	23	6	57	54	112	36	23	73*	
	ドレン時ナトリウム温度(°C)	280	280	280	200	200	200	200	200	200	
	ナトリウムドレン時間(hr)	17.5	1	3.5	1	1.5	1.5	3.4	1.25	1	
洗	洗 淨 法	アルコール循環洗浄									
	使用アルコール量(l)	1830	1950	2120	1830	1880	1880	1950	2040	2040	
	アルコール くり返し使用回数	1	2	3	4	5	1	2	3	4	
	除去ナトリウム量(g)	1790	1140	1450	2150	3100	1400	1840	1780	2560	
備 考			〇バアル洗浄併用				〇5%含水アルコール (爪OK感知ロッド不良)		(同左)		
(洗浄後の動作)	(不良)	(不良)	(不良)	(不良)	(不良)	(不良)	(良)	(良)	(良)		

*省洗浄試験のため断続的に浸漬(S54.4.11~S54.11.15)

た。結果の抜粋を表6に示す。試験は通算16回行われ、そのうち14回がマークIIグリッパを使用して行われた。いずれの回も初めの動作が若干重いほかは特に問題がなかった。保管雰囲気のアルゴンガス中に、大気圧変化を考慮した最大100mmAq分圧の空気を混入しても（7日間保管）、2カ月間の保管期間を経ても（混入空気量100mmAq）、再使用が可能であった。省洗浄での繰り返し使用回数は13回まで経験したが、その後も連続で再使用できるような良好な状態であった。ITVを使用した炉内観察にも成功している。

5.5 燃料切り離し試験

「もんじゅ」ではグリッパから燃料が切り離

表5 マークIIグリッパ単独洗浄試験結果

項目	方法		
	100% アルコール 循環洗浄	20%含水 アルコール 循環洗浄	スチーム 洗浄
付着 ナトリウム量(g)	96	93	不明
洗浄 ナトリウム量(g)	93	85	不明
未洗浄 ナトリウム量(g)	3	8	1.8

せなくなったような場合、強制的に切り離せるように燃料切り離し装置が考慮されている。本試験でもこれにより大気中での燃料切り離し試験が実施された。試験のポイントは燃料交換機駆動部側からの操作と燃料切り離し装置側からの操作とを同時に行う連携プレーにある。燃料切り離し装置側から最大1tの駆動力を加えられることが確認され、連携プレーによる操作も3回程度試みるとスムーズに操作できることがわかった。試験の概念を図6に示す。

5.6 シール機構開発試験

当初採用されたシール機構はVパッキン方式であり、燃料交換機ナトリウム中試験の過程でリップのたれこみが生じた。燃料交換機で使用するシール機構は、径が大きいこと、軸方向はもとより回転動作もあること、シール性と摺動抵抗との相反する要求を満足すること、さらに温度サイクルおよびナトリウム雰囲気さらされることなどでむずかしい問題が多い。試験はパッキンの縦断面を見た形で表現すると、空洞型から始め、改良空洞型、再びV型、そしてJ型へと進んだ。現在J型が試験されており、それによって大気中ではほぼ満足すべき結果が得られている。なおシール機構開発試験は単独で試験装置が製作され、それによって現在も試験

表6 省洗浄試験結果（抜粋）

項目	通算						
	2 (S53.2)	3 (S54.2)	6 (S54.6)	10 (S54.8)	12 (S54.9)	13 (S54.10)	15 (S54.10)
区別	マークIIグリッパ						
ナトリウム温度 (°C)	200	200	280	200	200	150	200
混入空気量 (mmAq分圧)	0	100	10	10	10	10	1000
保管時間 (d)	65	68	14	7	7	7	7
ウォーミングアップ時間(hr)	1.5	2.5	1.5	0.5	1.5	1.5	1.5
動作回数 (回)	-	-	-	-	0	-	-
燃料交換動作	良	良	良	良	良	良	良

注) ウォーミングアップ時間：ナトリウム中に挿入してから動かすまでの時間

動作回数

：ナトリウムから引き抜くまでに炉内で動かした回数

-表示のところは充分動かした。

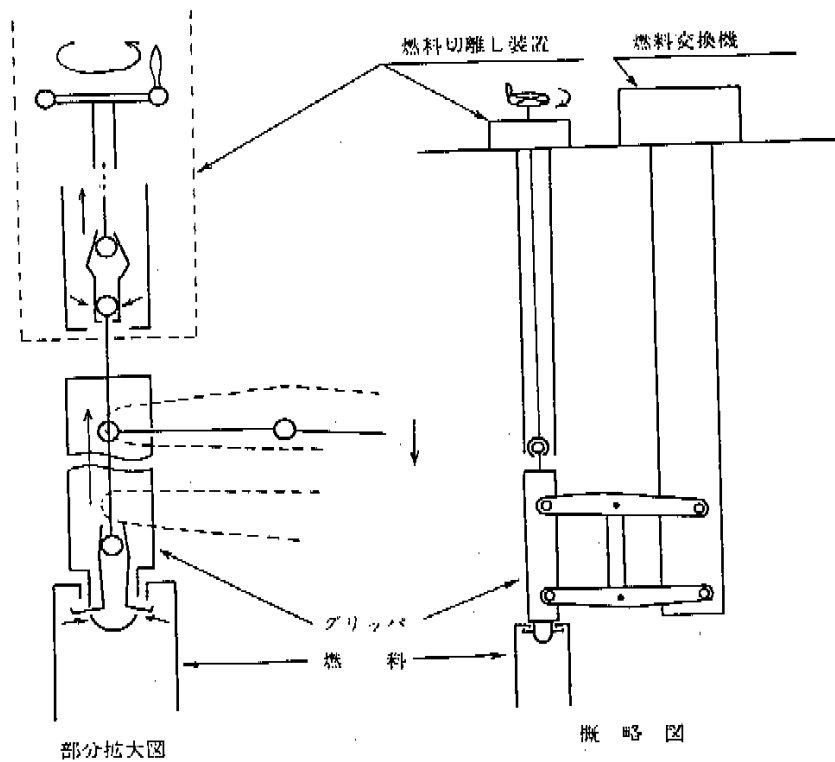


図6 燃料分離試験

が行われている。シール装置を図8に示す。

6. 特記事項

6.1 回転ハウジング過負荷異常

(1) 経過

大気中試験のあと、試験ループにナトリウムを充填しての流動試験が行われた。その後、昭和50年秋ナトリウム中試験を実施するための事前点検として、常温アルゴンガス中で回転ハウジング単独の動作チェックを行った。その時、ホールドダウン上昇、旋回動作とも過負荷異常を示し、上昇荷重は大気中の約2倍の値に達した。外部からの点検では原因がつかめず、回転ハウジングを引抜き分解を行う調査が実施された。

(2) 原因

分解点検の結果、回転ハウジングおよびガイドスリーブにわずかに変形が生じており、摺動部には軽い線条痕が認められた。回転ハウジング全体では、駆動部とガイドスリーブ上部および下部の3点支持構造であったため、変形によ

る支持反力が生じ、過負荷異常が発生したものと考えられた。

(3) 改造および結果

回転ハウジングの中間部軸受の隙間を大きくして振れ止めとし、さらに回転トルクを軽減するとともに駆動力に余裕を増やすなどの改造が行われた。以後、耐久試験途中で旋回荷重に若干の増加が見られたが、順調に運転されてきた。

6.2 燃料交換機の洗浄と省洗浄

燃料交換機の当初設計方針は、ナトリウム中で燃料交換終了後、燃料交換機をクレーンで持ち運び近傍のアルコール洗浄装置で洗浄することであった。前述のようにマークIグリッパでの洗浄不良によるグリッパ動作不良の解決策として提案され採用されたのは、ナトリウム切れの良い(ドレーナブル)マークII型グリッパ(図7参照)で53年1月に試作され、含水アルコールや水蒸気使用による、より良い洗浄結果を得ることであった。この結果は、マークIグリッパに比べ動作も良好で好成績であったが、なお、ねじ部などには未洗浄ナトリウムが残った。また、マーク

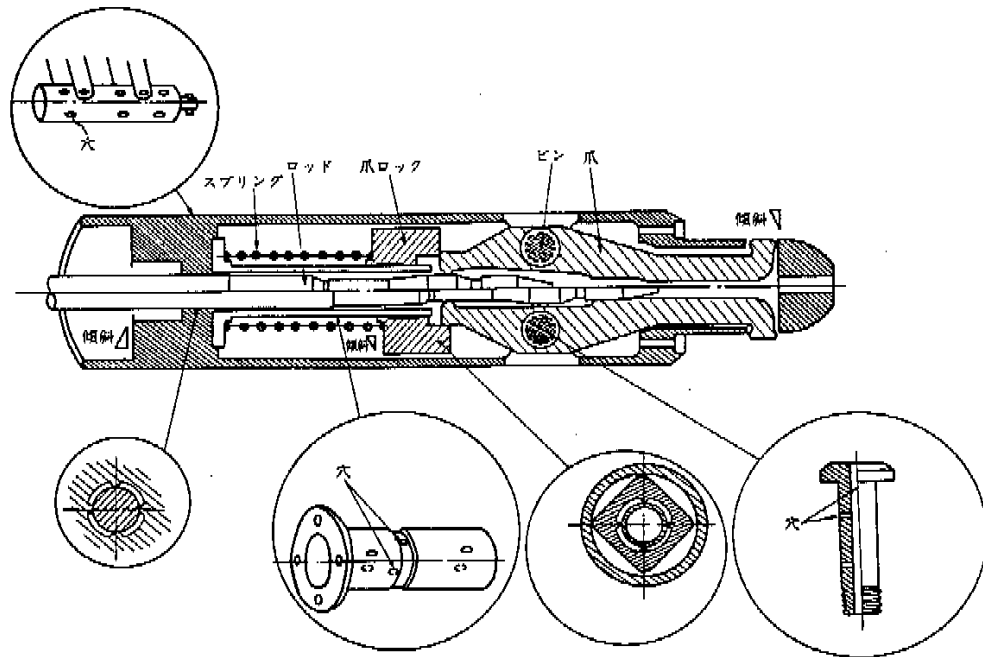


図7 マークIIグリッパ

I グリッパでは、良い作動性を得るために解体洗浄が常に必要でこれに約10日/回を要した。したがって難しい完全洗浄を狙うよりも、普段は炉容器からナトリウム付着のまま燃料交換機を取り出し、アルゴンガス中に洗浄せずに保管しておき、燃料交換機使用時にはそのままナトリウム中にグリッパを漬け、付着ナトリウムを溶出させ、グリッパを作動せしめるいわゆる「省洗浄」が考案された。この試験は当初成功し得るか疑問視された向きもあるが、成功した場合の効果は著しいものがあるため、現在まで4年にわたり、鋭意継続されてきた。その結果は表6に示すように順調であった。マークIIグリッパでは14回の省洗浄試験すべてについて、凍った、しかも若干酸化したナトリウム付着状態のグリッパであっても、200°C程度のナトリウムに再浸漬し、リンシングすれば1~2時間程度で再動作し得ることが明らかとなった。なお、その前に行ったマークIグリッパでも試験回数は少ないが、省洗浄がほとんど可能なことを確かめている。この再動作効果はグリッパそのものの構造変更よりも、微細間隙に入ったナトリウ

ムは、洗浄するよりも再溶出の方が扱い易いとの示唆を与えるもので、学理的にも興味ある事象であろう。省洗浄試験の一つとして、燃料交換機可動部分が一部ガス中露出の状態で試験したが、約1日高温ガス中で保持すれば異常なく動作した。また燃料交換機解体洗浄の結果、特別ないたみは認められていない。これらによりグリッパ省洗浄の実用性は十分確められ、実機では採用の方向で検討されている。この省洗浄は、他のナトリウム中機器の保守技術にも応用可能であろう。燃料交換機グリッパ省洗浄の効果を要約すると次のとおりである。

- (1) 若干汚れたナトリウムが付着していても、短時間で作動し得る。
- (2) 作動性を確保するためには、完全に近い洗浄を必要とするので分解しなくてはならず、これに10日程度を要する。省洗浄では短時間で済み、大幅な省力化となる。
- (3) 作業にともなう放射性アルカリ廃液を零にし得る。
- (4) 作業にともなう被曝の可能性を大幅に減ずることができる。

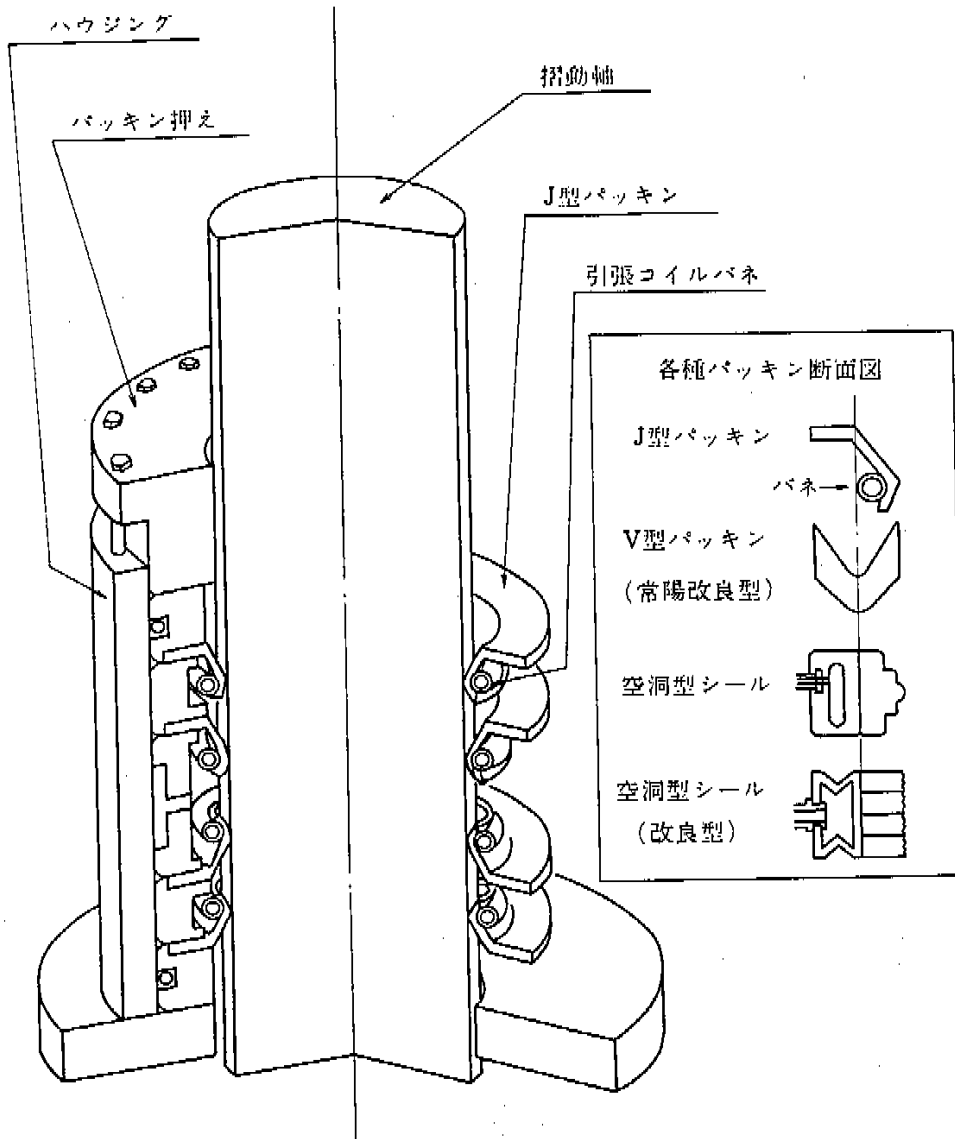


図8 燃料交換機用シールバッキン

7. あとがき

「もんじゅ」燃料交換機フルモックアップナトリウム中試験は、過去5年間にわたり行われ、機能および耐久性が十分立証された。一方試験、保守、補修、定検を通じさまざまな知見、経験を得ることができ、わずかな点を除いて問題点は解決されており、無事54年度末には終了の見込みである。以上の成果は「もんじゅ」に直接寄与するばかりでなく実証炉にも参考になるも

のと思われる。これらの詳細は既刊13編、最終的にはおよそ17編の成果報告書にまとめられることになるが、関係者にとって参考になれば幸いである。

関係メーカーおよび当室燃取チーム関係者の労を多とするものであり、本部原型炉北川前主任研究員、大川副主任研究員、ナトリウム部の斎藤前部長、三本部長、当室の深田前室長代理、横沢前副主任研究員等の御指導に謝意を表する。