

# 「常陽」燃料取扱設備における付着ナトリウムの影響とその対策



区分変更	
変更後資料番号	<del>PNC</del> TN9430 88-004
決裁年月日	平成 13 年 7 月 31 日

1988年2月

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター  
実験炉部

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

「常陽」燃料取扱設備における付着ナトリウムの影響とその対策



河井雅史 松本正樹 佐橋 実  
中山忠晴 小沢健二 山下芳興

要 旨

高速実験炉「常陽」の燃料取扱設備において、原子炉運転中に原子炉容器内で発生するナトリウム蒸気の付着によって、種々の不具合事象が発生している。これらは、回転プラグ及びそれに設置されている燃料を交換する為の孔（燃料交換機孔）に現われている。

このうち、回転プラグについては、燃料交換作業に先立ち回転の為に上昇させるが、作業終了後に下降させることができない事象が発生している。

また、燃料交換機孔においては、燃料交換作業の過程で、そこに案内管（スリーブ）及び盲プラグ等を装荷するが、これらを取扱う機器（燃料出入機）では装荷及び引抜きができない、更には、炉心から燃料を引抜く際に、その周辺に隣接する燃料の浮き上りを防止する為に燃料交換機孔に設置されているホールドダウン軸が動作しない事象が発生している。

これらの不具合事象に対して、現在、経験的に考案された運転手法及び特殊装置を製作、使用して対処してきている。これらは、いずれも燃料交換期間を長くさせるものの付着ナトリウム対策の為に製作した装置は有効に機能し、燃料交換作業への直接的な影響を確実に回避している。

## 1. 緒 言

高速実験炉「常陽」は、昭和52年4月に臨界達成後、増殖炉心（MK-I炉心）から照射炉心（MK-II炉心）への移行を経て、現在（昭和63年1月）、100MW第14サイクル運転を終えた。

一方、燃料取扱設備は、昭和57年1月から約1年に渡るMK-II炉心構成の為の取扱いを含めて、現在までに673本の炉心構成要素を取扱ってきた。この間、原子炉運転中に炉容器内で発生するナトリウム蒸気が、炉容器の蓋に相当する回転プラグに付着し、それが原因して、燃料取扱設備に種々の不具合事象が発生している。これは、MK-I炉心における75MW運転時より現われ始め、以後、現在に至るまで燃料交換の度に発生している。これらは、その都度対策を講じなければならず、その為燃料交換期間が長期化する傾向にある。

本報告書は、燃料取扱設備における付着ナトリウムの影響と現在実施しているその対策についてまとめたものである。

## 2. 燃料交換の概要

ここでは、付着ナトリウムの影響を受ける燃料取扱設備を使用する炉内燃料取扱いの概要について述べる。

「常陽」における燃料交換は、炉内燃料取扱(1) (燃料移送の準備)、燃料移送、炉内燃料取扱(2) (炉心構成)に大別される。炉内燃料取扱(1)、(2)は、燃料交換機を用い、炉心構成要素を炉容器内において、炉心 — 燃料貯蔵ラックの冷却ポット (Bポット) — 移送用ポット (Aポット)間で移動を行う作業である。燃料移送は、燃料出入機を用いて炉内燃料貯蔵ラックの移送用ポットに装荷されている使用済炉心構成要素をポット共、小回転プラグ上に設置されている燃料交換機孔を介して、炉容器外へ出したり、新しい炉心構成要素を炉容器内燃料貯蔵ラックへ装荷する作業である。

燃料交換作業を開始する前には、炉容器内における取扱場所を位置決めする大・小回転プラグをそれぞれ回転可能な状態とする為に、下限位置 (ジャッキダウン位置) から油圧装置にて各々約 20 mm 持ち上げ、上限位置 (ジャッキアップ位置) とする。また、原子炉運転中に燃料交換機孔に装荷されている孔プラグ引抜等の準備作業がある。炉内燃料取扱(1)、(2)においては、燃料交換機のグリッパ軸の揺れを抑える為に燃料交換機孔に案内スリーブ(I)、(II)を装荷し、燃料交換機を据付けて行われる。炉心より炉心構成要素を引抜く際は、周囲の炉心構成要素の浮上りを防止する為に、ホールドダウン軸を下降させる。また、燃料移送は、交換機を取りはずし、案内スリーブ(I)、(II)を引抜いて行われる。

尚、孔プラグ、案内スリーブは、燃料出入機によって取扱われる。一連の作業におけるこれら機器の状態を図1に示す。

燃料交換作業は、数週間に渡って行われ、その期間中孔プラグ及び案内スリーブの引抜き、装荷、回転プラグのジャッキアップ、回転、ジャッキダウンが行われる。これらの操作は、燃料交換作業の中の各ステップへ進む際に必ず行わなければならないものである。

### 3. 付着ナトリウムによる不具合事象

付着ナトリウムに起因する不具合事象は、主に回転プラグまわりと燃料交換機孔まわりの各々の摺動部に発生している。

#### (1) 回転プラグジャッキダウン異常

昭和57年1月、回転プラグをジャッキダウンする操作を行った時、大回転プラグがジャッキストローク約20mmのところ、途中までしか降りない事象が初めて発生した。これは、回転プラグの回転部と固定部とのすき間に、蒸着したナトリウムがはいり込んだため、ジャッキアップ、ダウン操作を繰返す方法で所定の下限位置まで降した。この事象は、その後の各100MW運転後の燃料交換の度に発生するようになった。

#### (2) 燃料交換機孔まわりの不具合

燃料交換機孔には、目的に応じて、孔プラグ、案内スリーブⅠ、案内スリーブⅡが装荷される。これらは、燃料出入機によって取扱うが、燃料交換作業に先立ち引抜かれる孔プラグが燃料交換機孔の間隙部のナトリウムによって、引抜けなくなる事象が昭和60年1月頃より現われ始めた。また、その作業に引続いて実施される案内スリーブⅠの装荷作業において、所定の位置まで装荷できない事象も発生した。更には、案内スリーブⅠを引抜く際に、相当の引抜力を要するようになった。

燃料交換機孔には、炉内燃料取扱時に、燃料交換機が取扱う炉心構成要素に隣接する炉心構成要素が浮上るのを防止する目的で、ホールドダウン軸が設けられている。燃料交換機が炉心構成要素を取扱う毎に、このホールドダウン軸を約50mm上下動させる。このホールドダウン軸が、昭和60年1月、下降できない事象が発生した。

これらの事象は、それ以降、燃料交換作業の度に発生している。

#### 4. 付着ナトリウム不具合事象の対策

付着ナトリウムに起因する不具合事象の対策を講ずる為に、種々の予備的試験、ナトリウム付着状況の観察等を実施した。これらについては、後日発行予定の報告書仮題「燃料取扱設備の運転経験、付着ナトリウムの影響とその対策」にて詳細に報告する予定である。ここでは、現在これらの事象に対して実際に実施している対策法について述べる。

##### (1) 大回転プラグジャッキダウン異常対策

図2に回転プラグ概略図を示す。また、ジャッキダウン不調の原因となるナトリウムの付着状態例を図3に示す。

回転プラグは、燃料交換期間中、毎日基準位置でジャッキアップ、燃料交換の為の回転、基準位置においてジャッキダウンを繰り返している。回転プラグに付着しているナトリウムは、その回転時に間隙部を移動し、ある部位に蓄積される。その結果、ジャッキダウン不調になるものである。ジャッキダウンを行う基準位置以外の位置に回転させて、一旦ジャッキダウンさせると基準位置において、ジャッキダウンし易くなる事が経験的に解ってきた。この経験を基に、回転プラグの運転状態を監視する為の装置（異常監視システム）を用いて、ジャッキダウン不調時のデータを収集、検討を行い、更には回転プラグ周囲の付着ナトリウムの状況を観察し、効率的に回転プラグを下限位置に到達させるような運転方法を求めた。

これは、図3に示すようにナトリウムは回転プラグ周方向全域に渡って付着しており、このナトリウムを回転プラグの自重（約300トン）によって剪断し、ジャッキダウンし易いようにする方法である。この方法は、回転プラグを360°回転させ、その時の駆動モータ電流の測定を行い、最大電流値を示した位置の反対側の位置でジャッキダウンを行い、その後、最大電流値を示した位置まで徐々に回転、ジャッキダウン、ジャッキアップを繰り返すものである。

前述しているように、毎日の燃料交換作業終了時には基準位置にて、ジャッキダウンを行っているが、もし所定の下限位置に到達しない場合は、上記方法にて対処している。この方法は、約2時間を要し、これによって、1日当りの燃料交換作業時間が長くなっている。

##### (2) 燃料交換機孔まわりの不具合対策

燃料交換機孔まわりにおける付着ナトリウムの影響は①孔プラグの引抜き不可、②案内スリーブ(I)の装荷不可、③案内スリーブの引抜き不可、④ホールドダウン軸の下降不可として、現在、現われている。それぞれの対策を以下に示す。

###### ① 孔プラグ引抜き不可対策

孔プラグは、原子炉運転中に燃料交換機孔に装荷されているが、原子炉運転中に炉内で発生するナトリウム蒸気が冷却されて、図4に示すようにホールドダウン軸内孔プラグ下面及びその間隙部にナトリウムが付着し、引抜き不可となる。なお、これらナトリウムの状況については、ホールドダウン軸内面をファイバースコープによって、観察を行った。

孔プラグは、燃料出入機によって取扱われるが、その最大引抜荷重700kgで引抜けない場合は、プラグ等保守装置を用いて対処している。本装置の最大引抜荷重は、3,000kgであり、孔プラグ、案内スリーブ(I)等の引抜不可に対処する為に、昭和55年に製作した。本装置の概略を図5に示す。なお、本装置を用いて孔プラグを引抜いた場合は、孔プラグは、下面及び側面に付着しているナトリウムを除去する為に、洗浄を行っている。

孔プラグ引抜き不可対策の為に、プラグ等保守装置を取扱った場合は、装置の据付、運転及び撤去作業によって、燃料交換作業工程が1日延長される事になる。

#### ② 案内スリーブ(I)の装可不可対策

案内スリーブ(I)が装荷不可となる事象は、孔プラグ引抜不可と重複して発生している。これは、図4に示すようにホールドダウン軸内において、孔プラグ引抜後、その下面に相当する位置にナトリウムが付着している為に、案内スリーブ(I)がそれと干渉して、所定の位置まで装荷できなくなる事象である。なお、燃料出入機は挿入力は無く、そのグリッパ(つかみ機構)及び取扱対象物の自重に依っている。

この事象に対しては、図6に示すホールドダウン軸内点検装置(昭和58年製作)を用いて、ホールドダウン軸内面に付着しているナトリウムをかき落とし、除去している。

この作業は、装置の据付、ナトリウムのかき落とし、装置の撤去作業等で1日費やす。従って、本作業も燃料交換作業の工程延長の原因となっている。

#### ③ 案内スリーブ(I)の引抜不可対策

孔プラグ引抜後、炉内燃料取扱作業に先立ち、案内スリーブ(I)及び(II)を装荷するが、孔プラグが燃料出入機によって引抜く事ができた場合は、ホールドダウン軸内面のナトリウム除去作業は行わず、引続いて案内スリーブ(I)及び(II)の装荷を行う。

孔プラグが燃料出入機によって引抜く事ができたとはいえ、多少なりともナトリウムの付着は有り、また案内スリーブ(I)は図1に示すようにその上部に案内スリーブ(II)が載せられる為に、その自重によって多少押込まれる。その為に、燃料出入機によって引抜く事ができない事象が発生する。この場合も、孔プラグ引抜不可対策と同様に、プラグ等保守装置を用いて対処している。この時、引抜いた案内スリーブ(I)は、付着ナトリウムの除去を行う為、洗浄を行っている。

#### ④ ホールドダウン軸下降不可対策

ホールドダウン軸は、小回転プラグの燃料交換機孔に据付けられており、燃料交換機によって引抜こうとする炉心構成要素の周囲に隣接する炉心構成要素の浮上りを防止する役割を果たすものである。燃料交換機が炉心構成要素を取扱う毎に、このホールドダウン軸を50mm上下動させるが、図7に示すように回転プラグ下面とホールドダウン軸外表面にナトリウムが付着し、既設のガス圧による駆動力(通常770kg)だけでは下降させる事ができない事象が発生している。このナトリウム付着状況については、光ファイバースコープを用いた原子炉容器内観察装置によって確認している。その観察結果を図8に示す。



この対策については、図9に示すホールドダウン軸下降装置（昭和61年製作）を用い、ホールドダウン軸に直接油圧による外力（最大印加荷重6,000kg）を加え、強制的に下降させ、付着しているナトリウムを剪断するものである。一旦剪断してしまえば、その後は、既設のガス圧による機構だけで動作可能となる。

この作業についても、装置の据付、下降作業、撤去の為に、1日燃料交換作業工程が延長される。

## 5. 結 言

「常陽」の燃料取扱設備において、付着ナトリウムに起因する不具合事象については、それぞれ前記した方法及び特殊装置を製作、使用して対処してきている。これらは、いずれも燃料交換期間を長くさせるものの付着ナトリウム対策の為に製作した装置は有効に機能し、燃料交換作業への直接的な影響を確実に回避している。しかし、回転プラグのジャッキダウン異常及びホールドダウン軸下降不可対策においては単にナトリウムの剪断のみにとどまっている為、今後付着ナトリウムを確実に除去する方策の検討を行う予定である。

また、「常陽」での付着ナトリウムの経験は、原型炉「もんじゅ」へ生かされ、回転プラグの可動部へ侵入、付着するナトリウムを抑制する為、図10に示すように、“Zリング”と呼ばれる固着防止リング、隙間限定ブレードの採用が決定している。

照射ベッドとしての「常陽」は、今後ますます稼働率の向上が要求される。その為、これら不具合事象の抜本的対策及び正味の燃料交換期間の短縮を目指し、現在設備の改造、合理化等の検討を進めている。

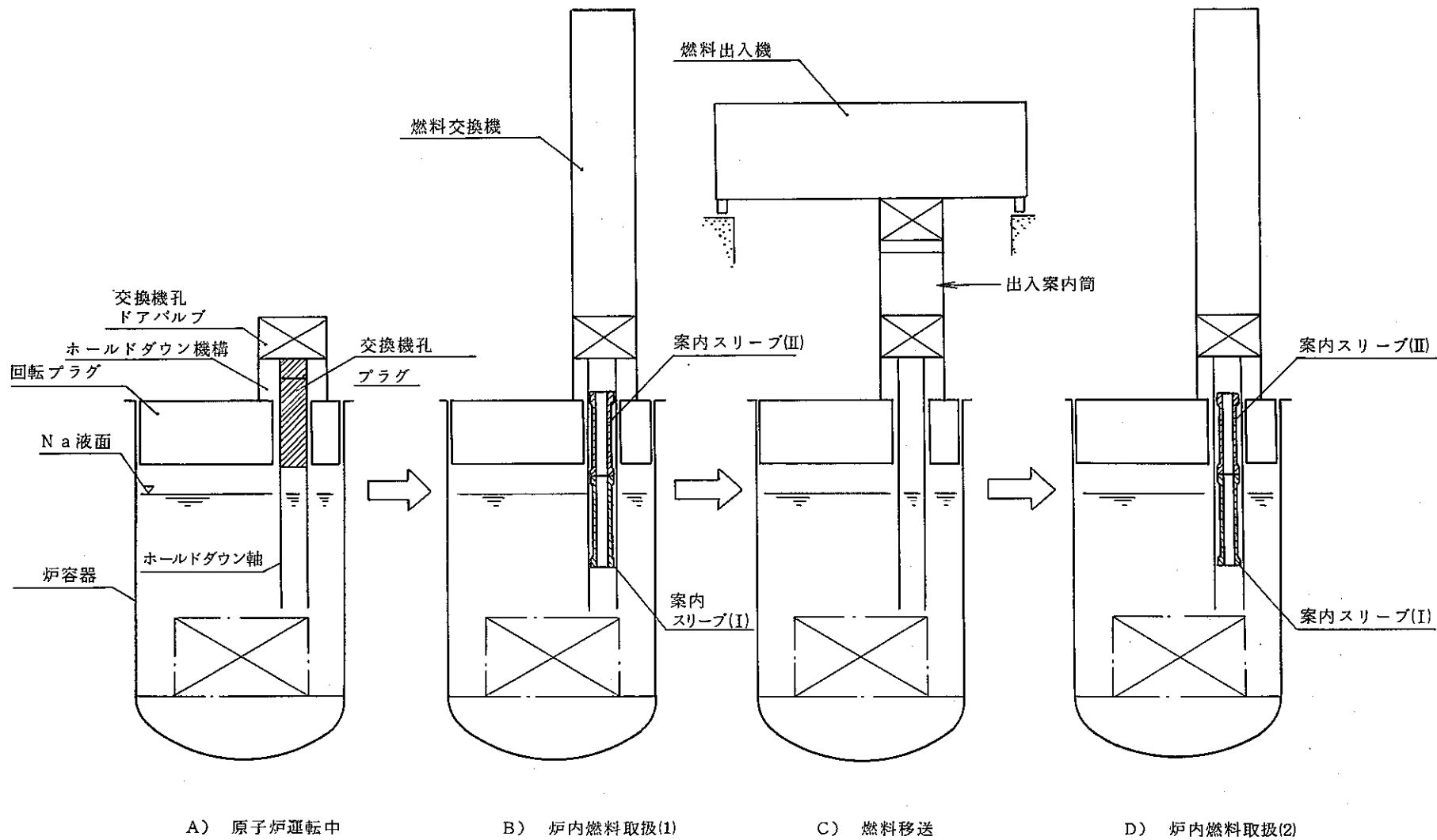


図1 燃料交換作業時機器状態

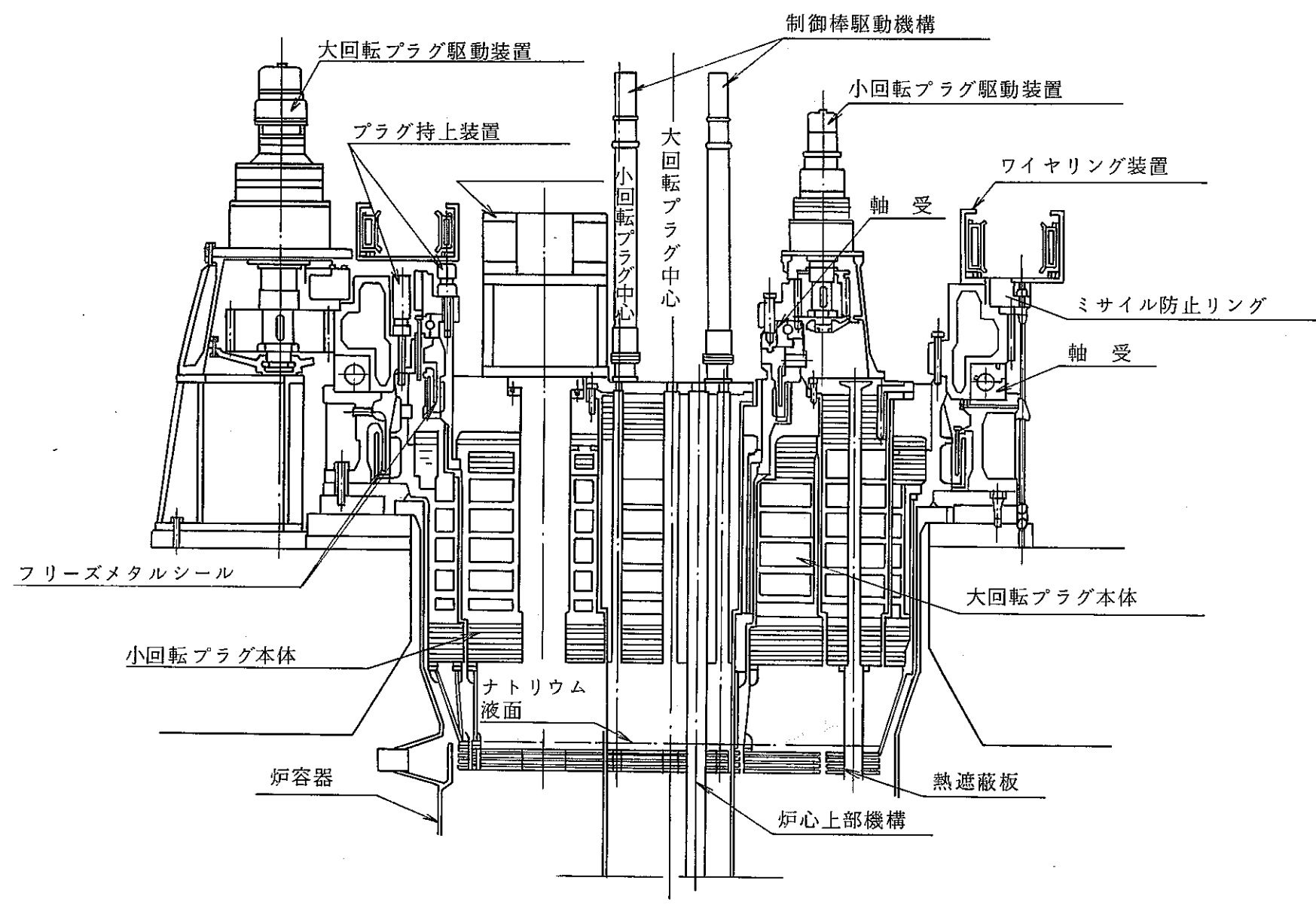


図2 回転プラグ概略

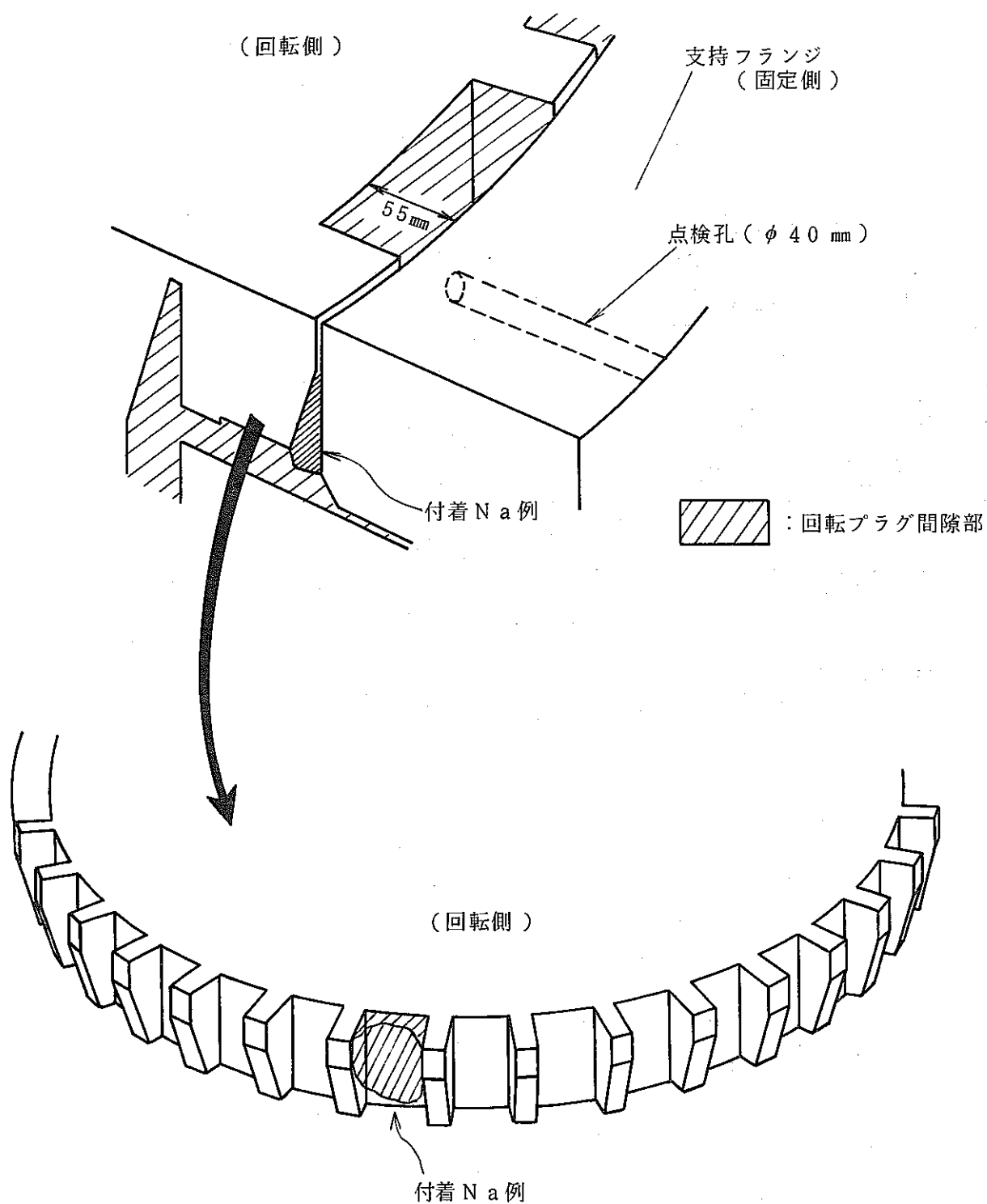


図3 回転プラグ間隙部ナトリウム附着例

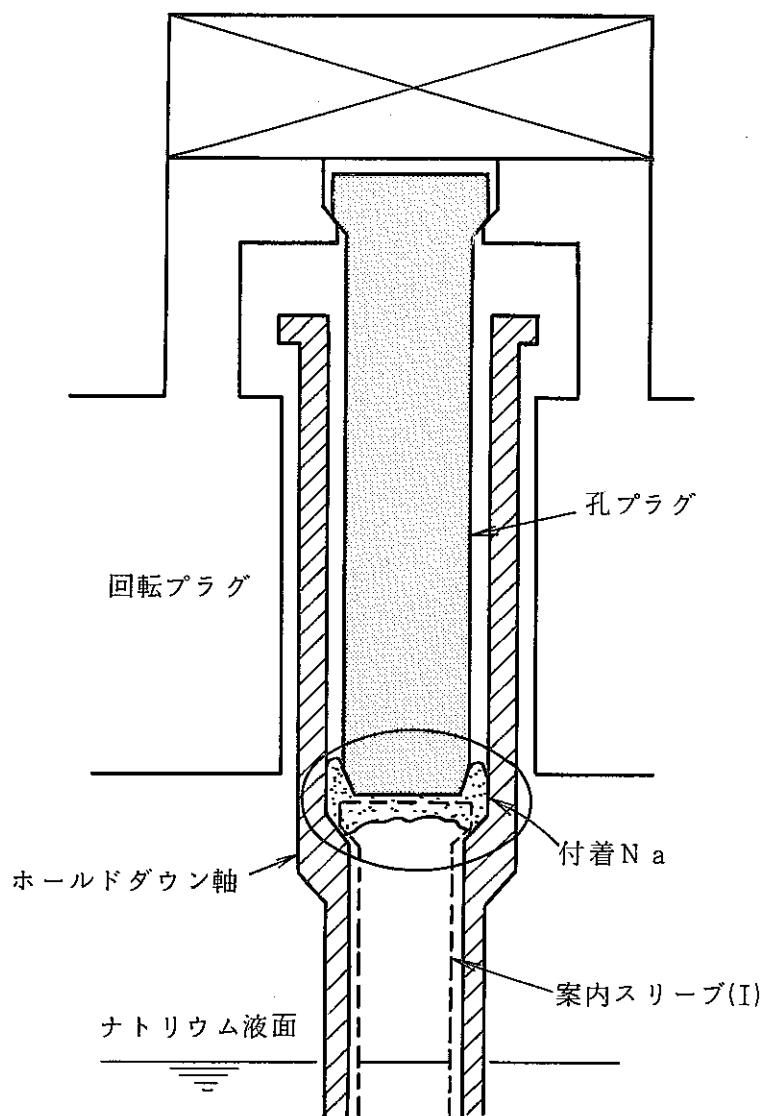


図4 ホールドダウン軸内Na付着状態

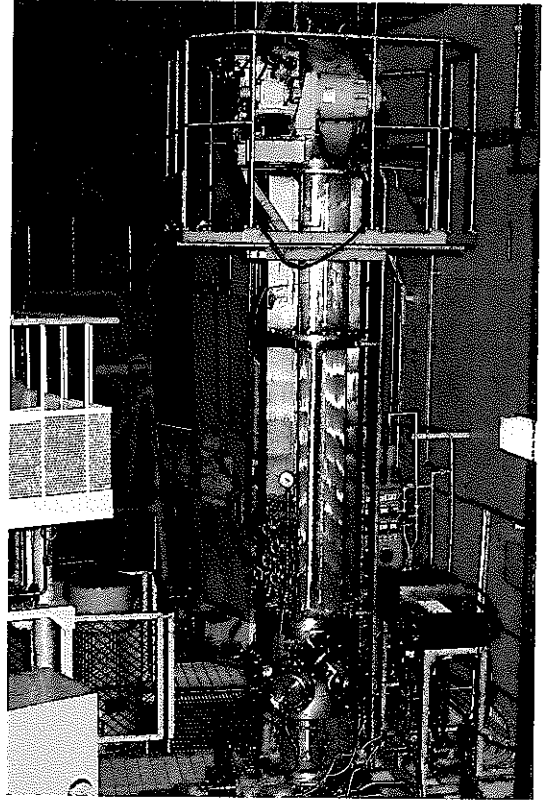
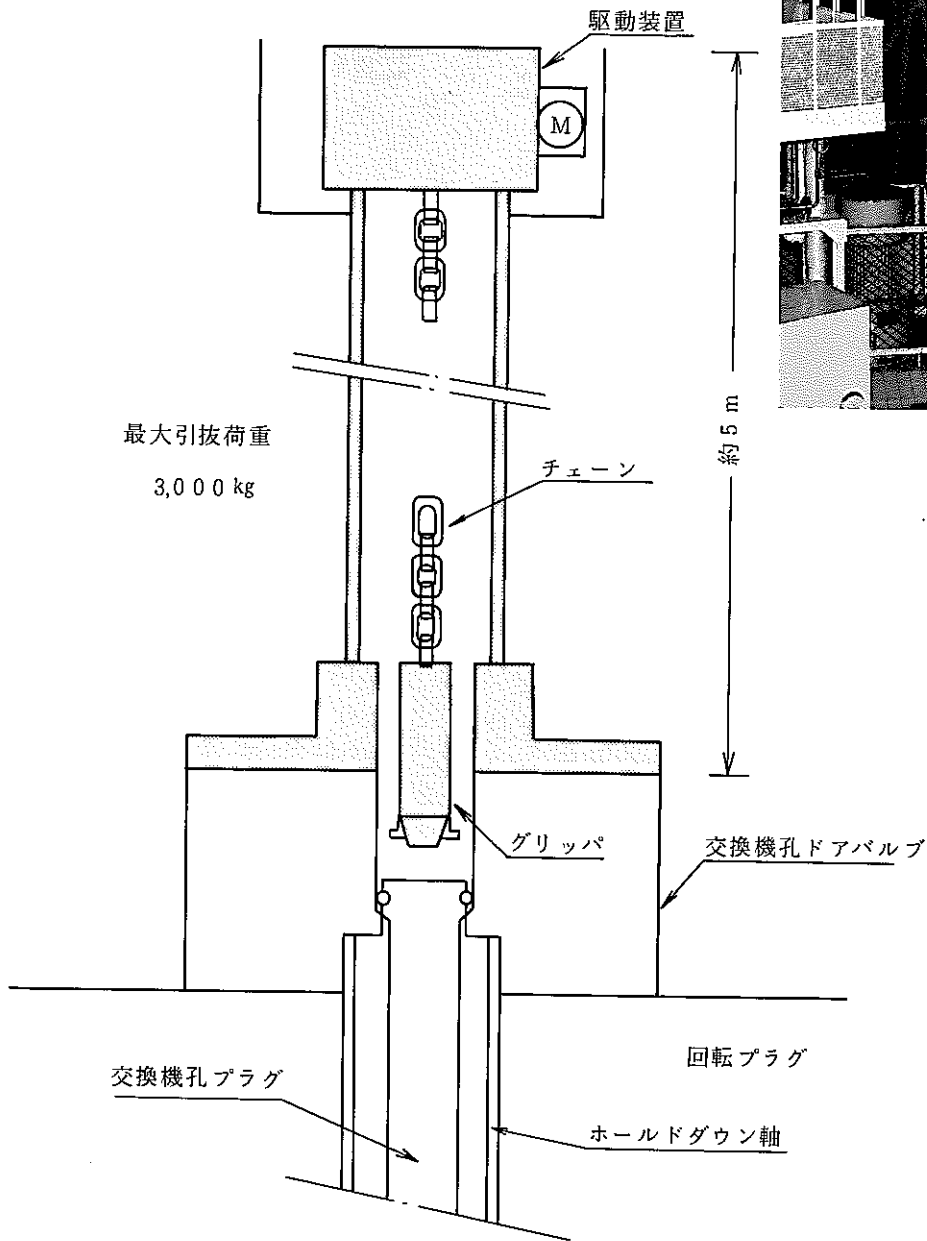


図5 プラグ等保守装置

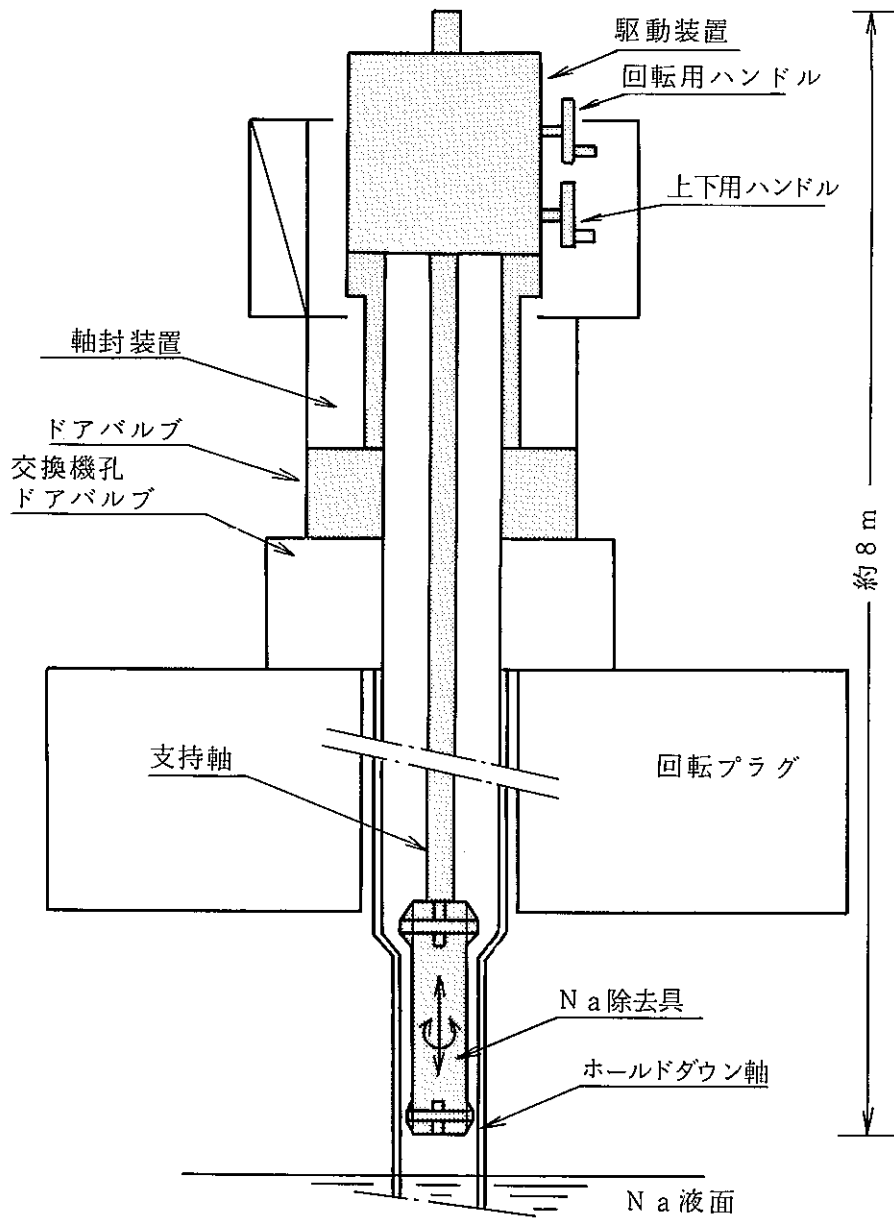
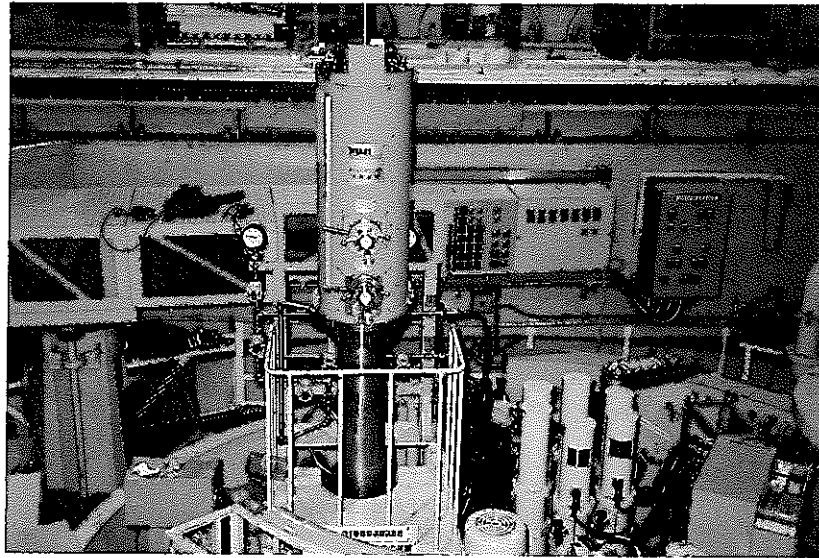


図 6 ホールドダウン軸内点検装置



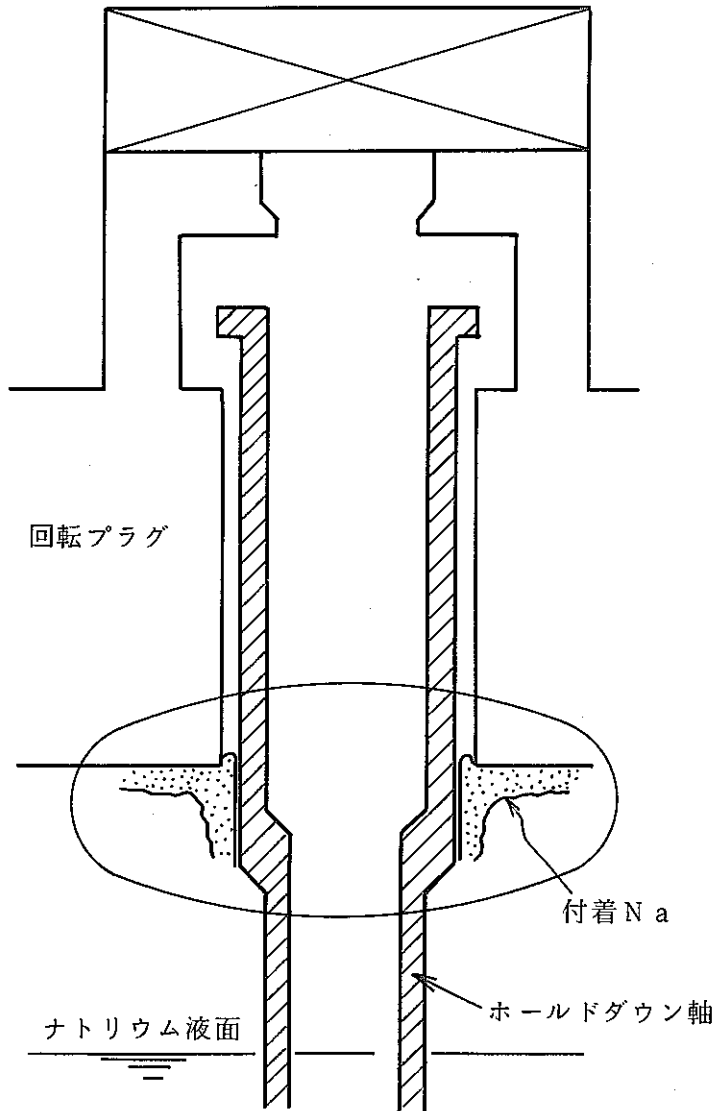
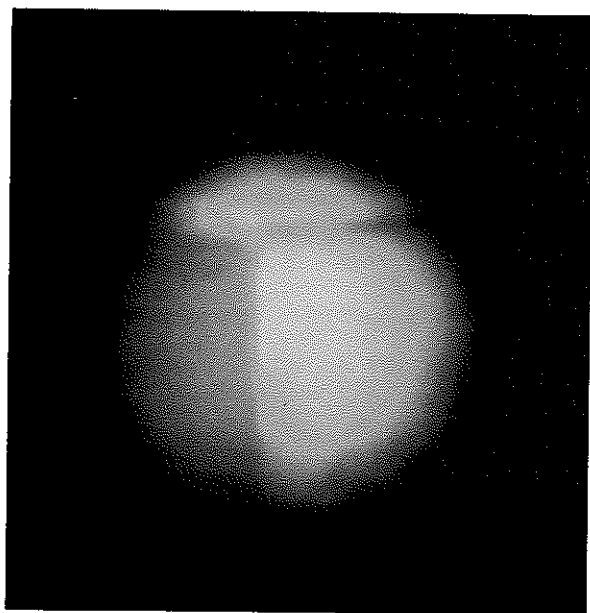
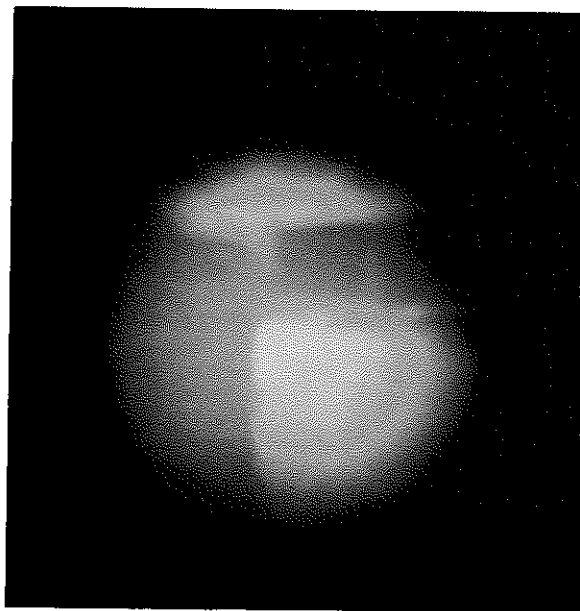


図7 ホールドダウン軸外表面Na付着状態



ホールドダウン軸上昇状態



ホールドダウン軸下降状態

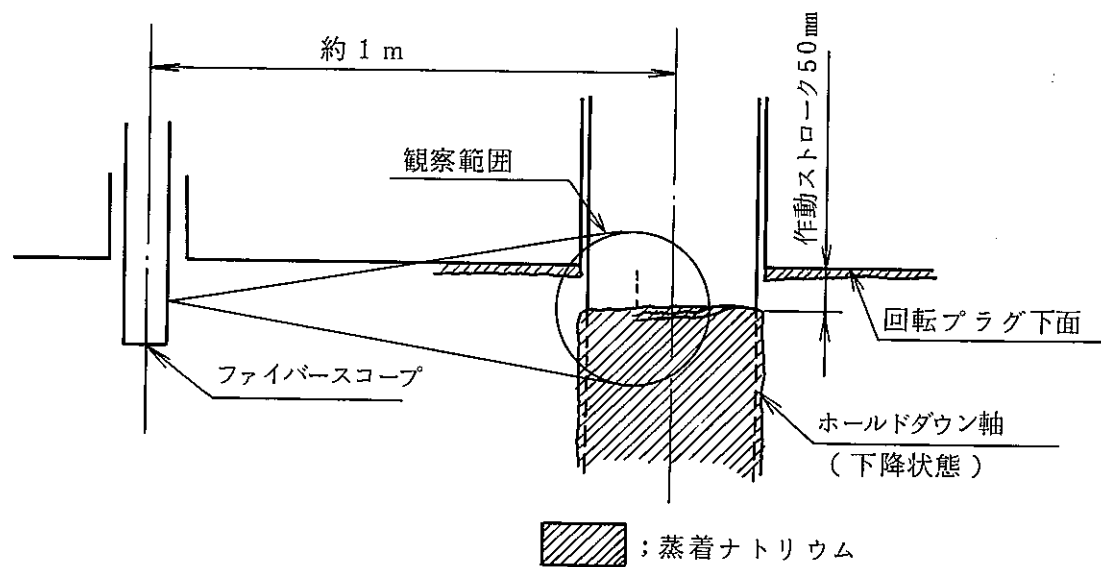


図 8 ホールドダウン軸外表面Na付着状況  
(VTR画像よりポラロイド撮影)

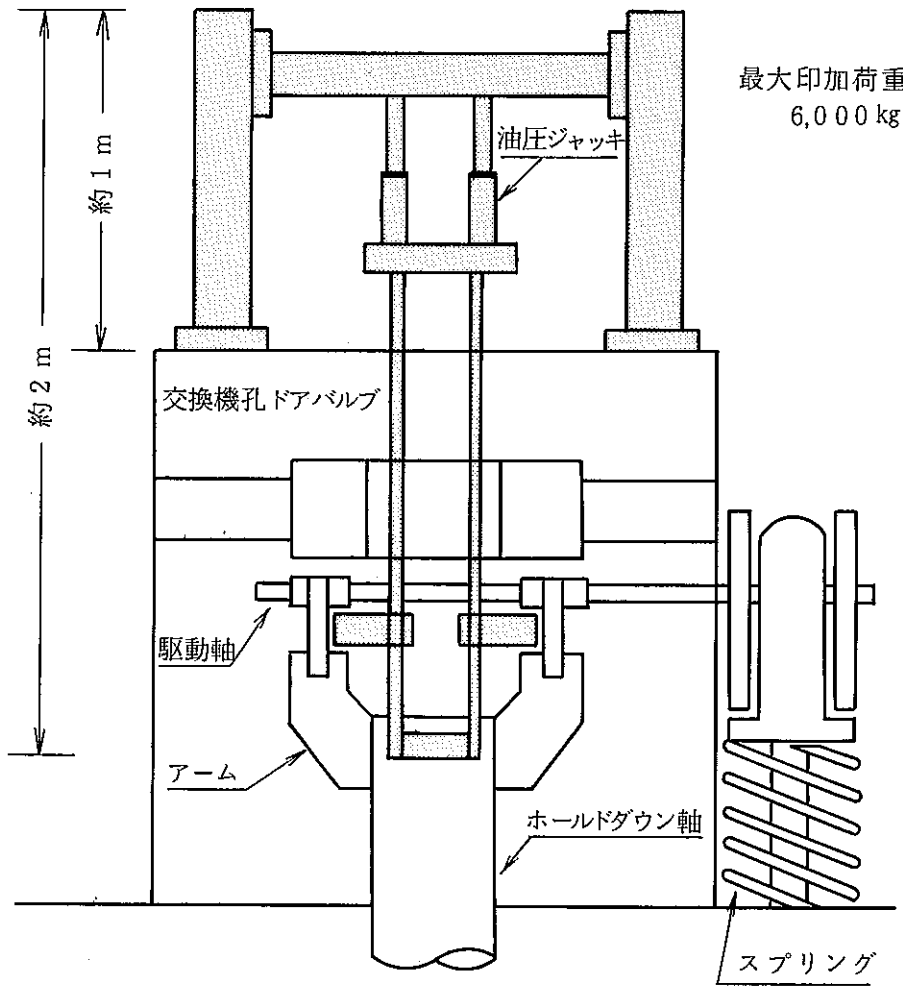
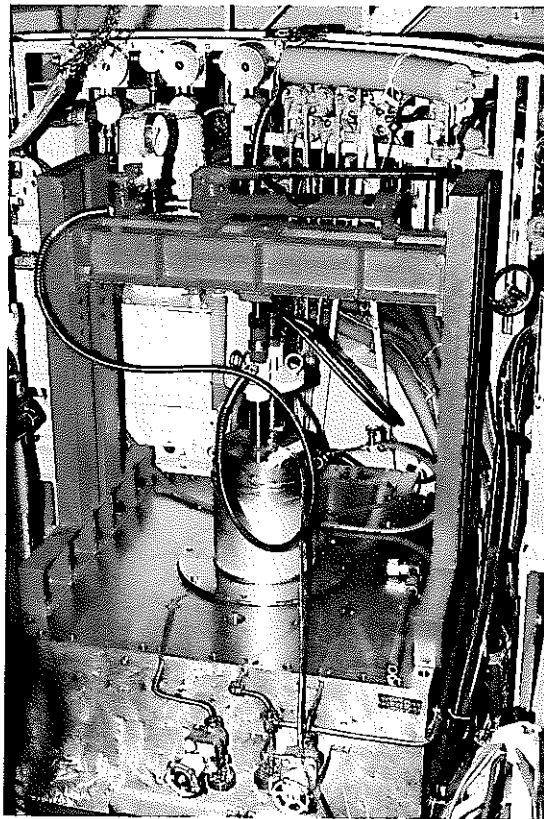


図 9 ホールドダウン軸下降装置

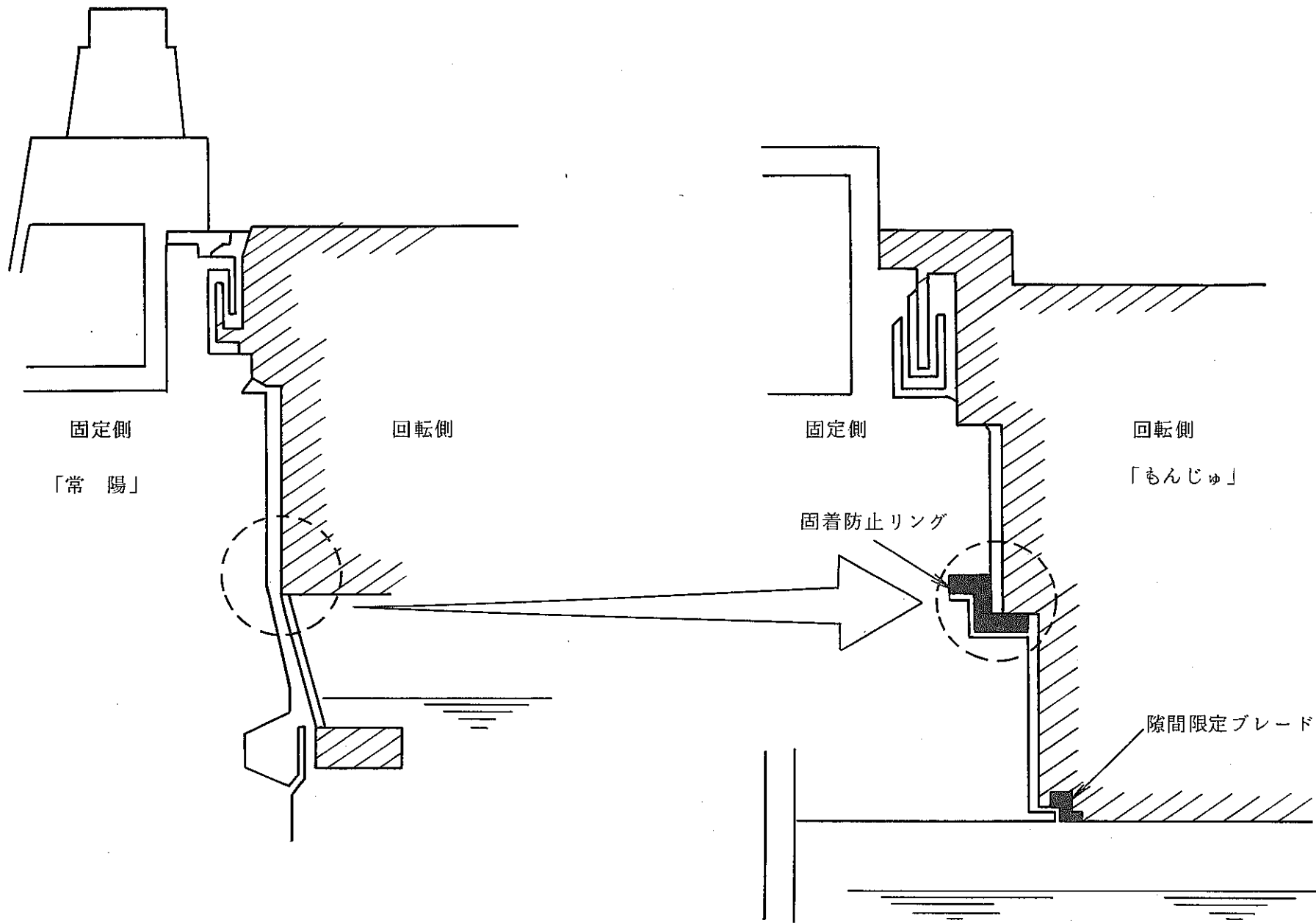


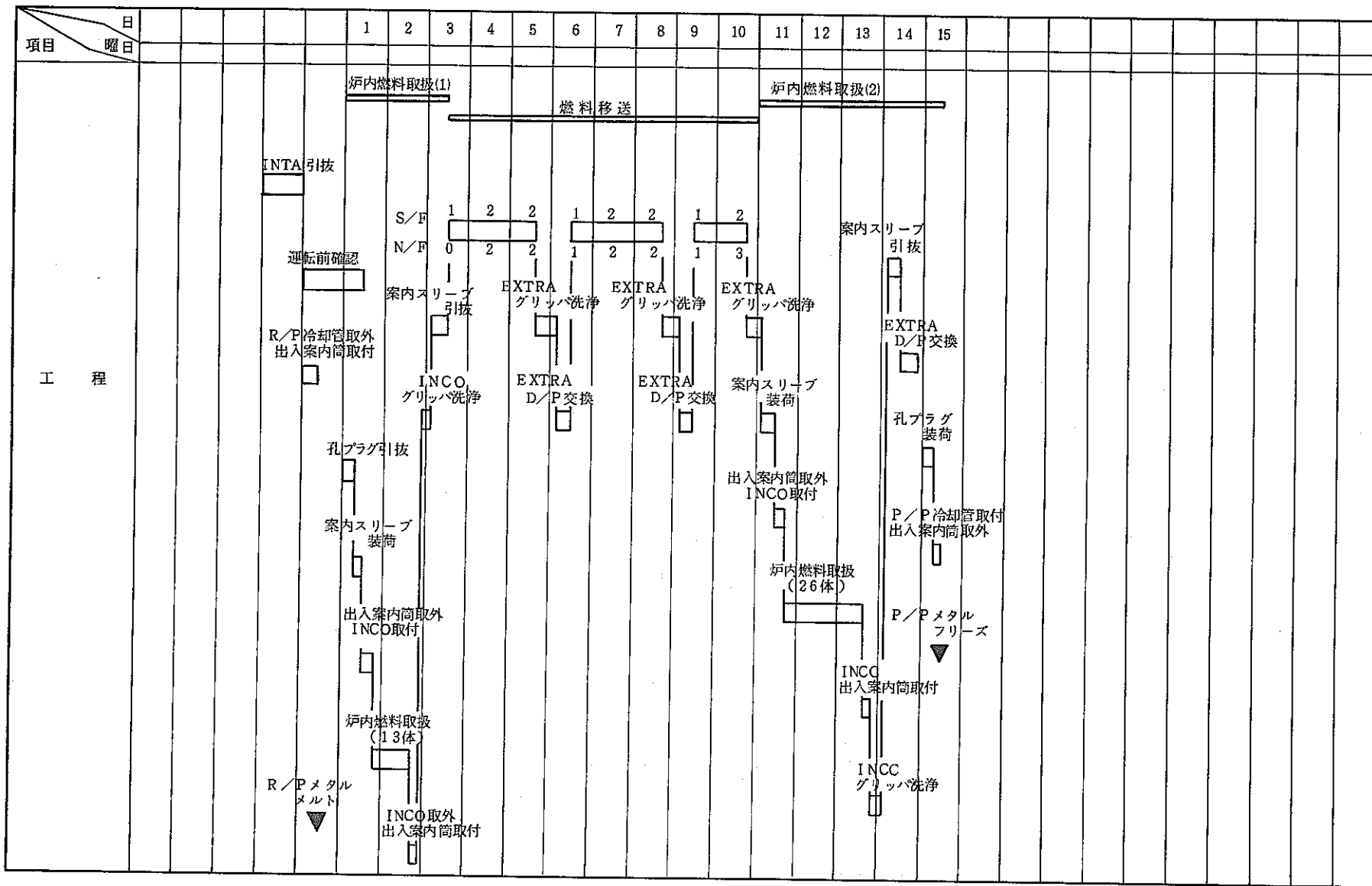
図10 回転プラグ可動部概略

## 6. 付 録

参考資料 1 に通常の燃料交換作業工程を示す。これは新，使用済炉心構成要素をそれぞれ 1 3 体取扱うケースのもので，標準的な燃料交換作業パターンである。また参考資料 2 には，付着ナトリウムに起因する不具合対策を実施する場合の工程を示す。前者の標準的な工程よりも後者は 2 日間長期化することになる。

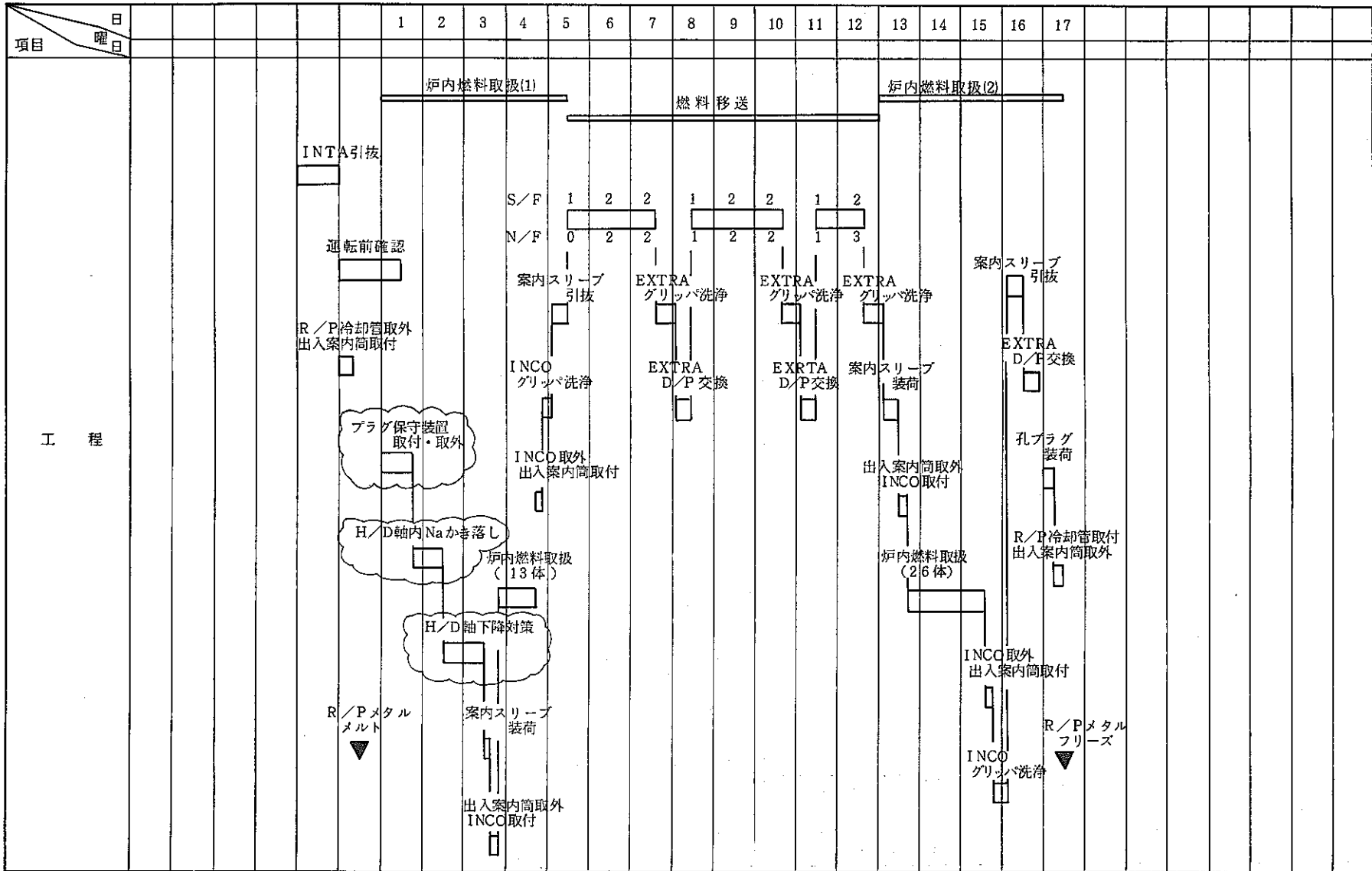
参考資料 3 には，標準的な燃料移送工程を，参考資料 4 には回転プランジャッキダウン不調時の工程を示す。経験的に求められた運転手法によるジャッキダウン対策の為に，約 2 時間作業が延長されている。

全体工程表



参考資料 1 標準的な燃料交換工程

全体工程表



参考資料 2 付着Na対策を実施する場合の燃料交換工程

原 1 燃 - 1 - 1

高速実験炉「常陽」燃料取扱作業 詳細工程表

課長	担当

年	月	日発行
訂1		
訂2		

年 月 日実施分

機器	時刻																																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23																	
新炉心構成要素移動表	(Ⅲ直)								交	(Ⅰ直)								交	(Ⅱ直)								交	(Ⅲ直)												
回転プラグ									ジャッキアップ (R13)								(R12)								ジャッキダウン															
(R/P) (洗浄) (炉上) 燃料出入機									S/F引抜 (R13) (R31) F/R装荷 (R13) (R12) S/F引抜 (R31) N/F装荷 (R12) (R33)																															
(EXTRA) (T/R) トランスフェロー									S/F吊下 N/F吊上 回転(L-R)								S/F吊下 N/F吊上 EXTRA本体パッケージ 回転(R-L)																							
(T/R) 新燃料移送台車	N/F予熱(1)																N/F予熱(1)																							
(N/F) (N/F室) (T/R) 燃料取扱用キャスク	(作業前確認も含む) C/Cブロー起動								N/F吊下 S/F吊上 (N/F吊下) (T/R吊上) (C/P吊下) (N/F吊上) (T/R吊下) (C/P吊上) C/Cブロー停止																															
(C/C) (N/F) (C/P) (FMF) 燃料洗浄設備	クラー送風機 Arガスヒータ 含む								N/F吊上 S/F吊下																S/F吊下															
(C/P) 回転移送機									洗浄液移送 準備 S/F洗浄																準備 S/F洗浄															
缶詰設備																									回転															
水中台車																	空缶準備 (7,11)								缶詰 空缶準備 (G-12) (6,11)								缶詰 (G-13) 移動							
使用済燃料移送機																									S/F装荷 (9,7)								S/F装荷 (9,8)							
使用済炉心構成要素移動表									PFD144 R13 → (9,7)																PFD075 R12 → (9,8)															

参考資料 3 標準的な燃料移送工程



原1燃-1-1

高速実験炉「常陽」燃料取扱作業 詳細工程表

課長	担当

年月日発行
訂1
訂2

年月日実施分

時刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
機器	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>(Ⅲ直)</span> <span>(Ⅰ直)</span> <span>(Ⅱ直)</span> <span>(Ⅲ直)</span> </div>																						
新炉心構成要素移動表	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>PFD246 46 → R13</span> <span>PFD251 51 → R12</span> </div>																						
回転プラグ	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>ジャッキアップ (R13)</span> <span>(R12)</span> <span>ジャッキダウン</span> </div>																						
(R/P) (洗浄) (炉上) 燃料出入機	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>S/F引抜 (R13)(R31)</span> <span>N/F装荷 (R13)(R12)</span> <span>S/F引抜 (R31)</span> <span>N/F装荷 (R12)(R33)</span> </div>																						
(EXTRA) (T/R) トランスフェロー	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>S/F吊下 N/F吊上</span> <span>回転 (L→R)</span> <span>S/F吊下 N/F吊上</span> <span>回転 (R→L)</span> </div>																						
(T/R) 新燃料移送台車 (N/F)	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>N/F予熱(1)</span> <span>N/F予熱(1)</span> </div>																						
(N/F室) (T/R) 燃料取扱用キスカー	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>(作業前確認も含む)</span> <span>N/F吊下 S/F吊上</span> <span>N/F吊下 S/F吊上</span> </div>																						
(C/C) (N/F) (C/P) (FMF) 燃料洗浄設備	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>クラーク送風機 Arガスヒータ 含む</span> <span>洗浄液移送</span> <span>準備 S/F洗浄</span> <span>準備 S/F洗浄</span> </div>																						
(C/P) 回転移送機	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>回転</span> <span>回転</span> </div>																						
缶詰設備	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>空缶準備</span> <span>缶詰 空缶準備</span> <span>缶詰 (G-13)</span> </div>																						
水中台車	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>(7,11)</span> <span>(G-12)(6,11) 移動</span> </div>																						
使用済燃料移送機	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>S/F装荷 (9,7)</span> <span>S/F装荷 (9,8)</span> </div>																						
使用済炉心構成要素移動表	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>PFD144 R13 → (9,7)</span> <span>PFD075 R12 → (9,8)</span> </div>																						

参考資料4 ジャッキダウン対策を実施する場合の燃料移送工程