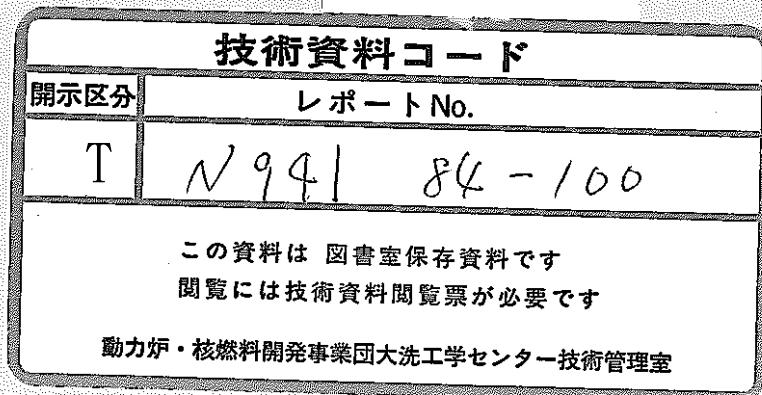
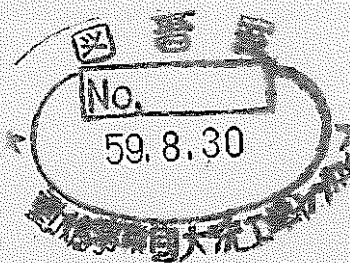


# 高速実験炉「常陽」第4回定期点検報告

1次主循環ポンプ(A)アウターケーシング内面遠隔目視検査



1984年6月



動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

1984年 6月

## 高速実験炉「常陽」第4回定期点検報告

### 1次主循環ポンプ(A)アウターケーシング内面遠隔目視検査

\* 富田直樹, 前田幸基  
 \*\* 宮口公秀, 遠藤順一

#### 要旨

高速実験炉「常陽」第4回定期点検期間中に、供用期間中検査の一環として、冷却材バウンダリとなる1次主循環ポンプA号機アウターケーシングについて、Na接液側溶接部の健全性および1次主循環ポンプに代表される1次系機器・配管のドレン後のNa付着状況を確認する目的で多目的目視検査装置を使用した目視検査を実施した。

この検査は1次主循環ポンプA号機の分解点検時に行なったもので、旧インナーアセンブリをアウターケーシングから引き抜き、新インナーアセンブリを装荷するまでの間を利用して、検査装置（カメラ）をアウターケーシング内へ吊降して、溶接部やNa付着状況を目視検査するとともにビデオテープに録画した。検査の結果、アウターケーシングNa接液側溶接部には欠陥は認められなかった。また、1次主循環ポンプのみならず1次主配管の一部についても目視することができ、Naドレン状況は極めて良好であることを確認した。

これらのことから、本方法は2重構造の内側に冷却材バウンダリが存在し、アクセスが困難な場合の供用期間中検査の一つの方法として、極めて有効であることを実証した。

---

\*大洗工学センター 高速実験炉部 原子炉第2課      \*\*現プラント安全工学室

\*\*\*現原子炉第1課

Jun. 1984

Experimental Fast Reactor "JOYO" The 4th Annual Inspection Report

Remote Visual Inspection of Outer Casing Inner Surface of  
Primary Main Pump (A)

Naoki Tomita(\*), Motoyuki Maeda(\*),  
Kimihide Miyaguchi(\*\*) and Junichi Endo(\*\*\*)

Abstract

In the 4th annual inspection of "JOYO", the remote visual inspection of the primary main pump (A) outer-casing was carried out as one of inservice-inspection in order to confirm the integrity of the welds and examine the condition of sodium deposition after being drained.

The inspection was conducted when the primary main pump (A) was overhauled and by using Multi-Purpose Inspection Industrial Television (MPI-ITV) the condition of the outer casing inner surface was displayed clearly on TV and recorded by the video tape recorder.

By the inspection, no degradation of the welds was found and the condition of the sodium drain was confirmed to be well.

These results showed that this inspection method was effective as one of inservice-inspection in case that the access to the equipment was difficult.

---

\* Maintenance Section, Experimental Fast Reactor Division, O-arai Engineering Center

\*\* Plant Safety Section

\*\*\* Operation Section

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 設 備 の 概 要 .....	2
2.1 1次主循環ポンプの概要 .....	2
2.2 ポンプメンテナンスキャスクの概要 .....	2
2.3 内面検査装置の概要 .....	3
3. 檢 査 の 方 法 .....	13
3.1 檢 査 手 順 .....	13
3.2 作 業 要 領 .....	13
3.3 檢 査 機 材 .....	15
3.4 作 業 工 程 .....	15
4. 檢査結果および考察 .....	22
4.1 溶接部目視検査 .....	22
4.2 Na付着状況 .....	23
5. 結 言 .....	43
6. 謝 辞 .....	44

## List of Tables

Table 2.1 Specification of Primary Main Pumps

1次主循環ポンプ主要目

Table 2.2 Specification of Pump Maintenance Cask

ポンプメンテナンスキャスク主要目

Table 2.3 Specification of MPI - ITV

MPI - ITV主要目

Table 3.1 Inspection Equipments

検査機材リスト

Table 3.2 Inspection Schedule

検査工程

## List of Figures

- Fig. 2.1 Primary Main Pump  
1 次主循環ポンプ構造図
- Fig. 2.2 Pump Maintenance Cask in Position  
ポンプメンテナンスキャスク全体組立図
- Fig. 2.3 Adapter Section (I)  
中 繙 管 (I)
- Fig. 2.4 Grove Box of MPI - ITV  
グローブボックスの構造
- Fig. 2.5 Operation Mechanism of MPI - ITV  
MPI - ITV の操作機構
- Fig. 2.6 Camera Cylinder  
カメラ筒
- Fig. 3.1 Visual Inspection of Inner Surface of Pump Casing Using MPI - ITV  
MPI - ITV を使用したポンプアウターケーシング内面目視検査
- Fig. 3.2 Location of Inspection Port on Adapter Section (I)  
検査ポートの位置
- Fig. 3.3 Temporary Piping Connection  
仮設配管の接続方法
- Fig. 3.4 Weld Locations of Pump Outer - Casing  
ポンプアウターケーシング溶接位置
- Fig. 4.1 Locations of Camera Cylinder at Visual Inspection  
目視検査時のカメラ筒の位置
- Fig. 4.2 Sodium Deposition on Outer - Casing Inner Surface  
アウターケーシング内面の Na 付着状況

## List of Photographs

- Photo 4.1 MPI - ITV
- Photo 4.2 Camera Cylinder
- Photo 4.3 Weld No PW-2A, 3A
- Photo 4.4 Weld No PW-4A
- Photo 4.5 Weld No PW-5A
- Photo 4.6 Weld No PW-7A
- Photo 4.7 Weld No PW-9A, 13A
- Photo 4.8 Weld No PW-10A, 11A
- Photo 4.9 Sodium Deposition on the Outer-Casing Inner Surface
- Photo 4.10 Sodium Deposition on the Inner Surface of Outer-Casing
- Photo 4.11 Sodium Outlet Nozzle
- Photo 4.12 Sodium Inlet Nozzle
- Photo 4.13 Sodium Deposition Surrounding Inlet Nozzle
- Photo 4.14 Unknown on End Plate

## 1. 緒 言

高速実験炉「常陽」では第4回定期検査期間中に供用期間中検査(Inservice-Inspection: ISI)として、以下の7項目について検査を行なった。

- (1) 1次主配管内管目視検査
- (2) 1次系機器・配管外観検査
- (3) 配管支持装置の点検
- (4) 安全容器漏洩率試験
- (5) 2次主配管異材継手体積検査
- (6) 2次主空気冷却器伝熱管表面検査、板厚測定
- (7) 1次主循環ポンプ(A)アウターケーシング内面遠隔目視検査

本報告書は、これら ISI のうち(7)1次主循環ポンプ(A)アウターケーシング内面遠隔目視検査の結果について述べたものである。この検査は、第1種容器で冷却材バウンダリとなるポンプアウターケーシングの溶接線の健全性および従来、直接見ることのできなかった「常陽」Na 機器・配管のドレン後の Na 付着状況を確認する目的で実施したものである。作業は、1次主循環ポンプ(A)の分解点検時に行なったもので、旧インナーアセンブリをアウターケーシングから引抜き、新インナーアセンブリを装荷するまでの間を利用して、インナーアセンブリ撤去後、カバーガス保持バウンダリとなる中継管(I)の盲板に予め取付けておいた検査ポートへ ITV 装置を据え付け、アウターケーシング内へカメラを吊り降して内面溶接線及び Na 付着状況について観察した。

ITV 装置は動燃にて「常陽」用に特別に開発したもので、試作段階を経て、現在、特に燃取設備機器の検査において有効に利用されてきているものを今回の検査で使用した。

## 2. 設備の概要

### 2.1 1次主循環ポンプの概要

1次主循環ポンプは堅型2軸受の自由液面遠心ポンプであり、2ループある1次主冷却系統各ループのコールドレグ部に各1基、計2基が設置されている。

1次主循環ポンプの構造をFig. 2.1に示す。主循環ポンプは、ポンプ本体（インナーケーシング）と本体をおさめたアウタークーシングから成る。ポンプ本体はインペラ、ディフューザ、軸、軸受、軸封機構、熱遮蔽板及びガンマ線遮蔽プラグ等から成り、メンテナンス時には配管と接続しているアウタークーシングを残し、ポンプ本体のみを引出すことが出来る。アウタークーシングの液体Naに接する部分はジャケットで覆う二重構造とし、ポンプ予熱及び万ナトリウムが漏洩した時のNa検知と保持が行えるようにする。

主中間熱交換器出口からポンプに流れて来たNaはアウタークーシングの下部から吸込まれ、インペラにより加圧されてディフューザを通り高圧室に入り、吐出口より水平に流出する。高圧Naの一部は本体下部のNa潤滑静圧軸受に供給される。静圧軸受から流出したNaはポンプ内液面を一定に保つために設けたオーバーフローノズルからポンプオーバーフローコラムに流出しポンプ吸込側に戻る。Na液面はアルゴンカバーガスで覆い、アルゴンガスと外気とはメカニカルシールでシールする。

このメカニカルシール及びポンプ上部のころがり軸受は潤滑油により潤滑する。潤滑装置はアルゴンカバーガスが外気に漏洩しないように密閉回路とし、また潤滑油がNa中に流入しないよう脇に流し出す構造となっている。Na蒸気がメカニカルシール部に上昇するのを防ぐため、外部より清浄アルゴンガスをシール部に供給し、ポンプ内にブローさせている。

### 2.2 ポンプメンテナンスキャスクの概要

ポンプメンテナンスキャスク（以下、メンテナンスキャスクと言う）は、1次主循環ポンプのメンテナンス時に、1次主循環ポンプを1次系より安全かつ確実に引抜き、メンテナンス建物内のポンプ洗浄槽中に搬入するためのものであり、1次冷却系統バウンダリの保持、系統内アルゴンガスの格納容器内拡散防止、付着NaとCPからの放射線遮蔽等の機能を有し、本体、中継管(I)、中継管(II)及び配管・電気計装品類等の付属設備から成る。

メンテナンスキャスクの主要目をTable 2.2に、全体組立図をFig. 2.2に、中継管(I)の組立図をFig. 2.3にそれぞれ示す。

メンテナンスキャスクによるポンプ引抜は概略次の様にして行われる。まず格納容器内のポンプ据付床上に中継管(I)を接続し、この上に本体を据付ける。本体は内部に吊上げ機構を、下

部にドアバルブを有する密閉容器であり、ポンプは系統から中継管(I)を通って吊上げ機構により取込まれ固定される。ポンプを本体内に収納した後は中継管(I)のドアバルブを閉とし、1次系カバーガスバウンダリを形成する。ポンプを収納し、固定した本体は下部ドアバルブを閉として中継管(I)と切離し、クレーンによって格納容器内1階床(1FL)まで吊上げられる。横倒しの後、メンテナンス台車に載せられてメンテナンス建物に搬出する。

メンテナンス建物内では本体は再び堅吊りにされ、予めポンプ洗浄槽上に接続されている中継管(II)の上部に据付けられる。本体ー中継管(II)ーポンプ洗浄槽の接続が完了した後、本体下部のドアバルブを開き、ポンプは中継管(II)を通じて洗浄槽内に吊降される。本体、中継管(I)及び中継管(II)の主要材質はSUS 304であり、これらには各々ガス置換用の配管が接続され、空気、アルゴン、窒素ガスの置換が行われる。

キャスク撤去後、中継管(I)はドアバルブにより1次系カバーガスを保持するが、そのバックアップとして頂部へ閉止板を取付ける。今回ITV装置のグローブボックスを取付けるため、閉止板の一部を改造して、検査ポートを追加した。

### 2.3 内面検査装置(MPI-ITV)

本装置は「常陽」の機器類の内面状態を目視検査する目的のために、動燃において開発試作したもので、特に燃料取扱設備機器のトランファロータンク・連絡管、燃料交換機系案内スリーブ・収納管、燃料洗浄槽等の内面目視検査に有效地に使用されてきたものを本来の目的に沿って1次主循環ポンプ(A)アウターケーシング内面目視検査に使用した。その意味で本装置は多目的内面検査ITV(Multi-Purpose Inspection Industrial Television:MPI-ITV)と呼ばれる。従って、以後本報告書ではMPI-ITVの略称を用いる。

MPI-ITVは当初試作品を使用してトランファロータンク内の検査を行ったが、システムとしての機能は未だ不充分で、より汎用性を持たせるため試作品の運用経験を生かして改造の必要があると考えられた。

改良点は次の通りである。

- (1) 前部・後部照明の取付
- (2) 冷却ファンの追加
- (3) DCアダプタの撤去
- (4) ケーブル仕様の変更

また、カメラ部の他に従来からの画像モニターを燃取設備監視ITV(中央制御室)から切離し、操作員が直接画像をモニターしながら作業できるようTVとレンズ操作部の組込まれた可搬型のコントローラユニットを製作した。

これらの改造を施したMPI-ITVを本作業では使用したが、カメラ、ズームレンズ等を

含めて構成機器はいずれも汎用品で組立てられているため、映像がカラーでないこと、カメラ筒の寸法がやや大きく、物理的に検査対象が制限されることを除けば、使用目的に合致したコストパフォーマンスの高い設計となっている点が特徴である。M P I - I T V はグローブボックスとカメラ筒から構成される。グローブボックスは検査対象機器のノズル等に据付け（この場合中継管（I）閉止板上の検査ポート）両側に設けられたグローブを介してカメラ筒の上下動を行うものである。

従ってカメラ筒は検査対象の雰囲気、即ち今回は1次カバーガス中に置かれ、グローブボックス自体がカバーガスのバウンダリとなる。カメラ筒の操作は全て手動操作で、カメラ筒の吊降し、引き上げ（ストローク 12 m），水平面上での回転（360°），引き起こし（0～90°）が行えるので事実上全方位の目視が可能である。

ここで、今回の場合、検査ポートの取付位置が閉止板の補強構造の都合上、中心にないためカメラ筒の引き起こしは約20°に制限された。また、カメラ筒のある角度（例えば水平90°）で引き起こした状態で吊降し、または引き上げることは操作機構の構造上不可能なので、例えば縦溶接線を上から下へ連続的にモニターしながらカメラ筒を吊降して行くというような側視カメラに近い使い方はできない。またグローブボックスの前面はアクリル板製で操作機構の回転方向すなわち I T V ユニットの向きが外から判るようになっているが、耐圧的には0.1 kg/cm<sup>2</sup>・gと低いものとなっている。なおカメラ筒の上下動はチェンによって行われ、グローブボックスと検査ポートの合せ面のシールはOリングによってている。

カメラ筒は長さ650mm、径120mmのSUS 304製の円筒型で内部に高感度カメラ、電動ズームレンズ、照明等が収納され、これは同じく収納されている冷却ファンで周囲雰囲気のガスを使って空冷されているのでケーシング自体に密封性はない。冷却ファンは改造により追加されたもので、この改造により連続運用時間はそれまでの30分から6時間程度と飛躍的に向上し、実質的に運用制限はなくなっている。またカメラの特性上、得られる画像は180°回転するので注意が必要である。Table 2.3 にM P I - I T V の主要目を示す。またFig. 2.4 にグローブボックスを、Fig. 2.5 に操作機構を Fig. 2.6 にカメラ筒をそれぞれ示す。

Table 2.1 Specification of Primary Main Pumps

## 1 次主循環ポンプ主要目

型 式	堅型・2軸受自由液面式単段遠心ポンプ
定格流量・揚程	21 m <sup>3</sup> /min × 70 m Na
定格回転数	930 rpm ( 静止セルビウス回転数制御 ) 130 rpm ( ポニーモータ運転時 )
出 力	定格 330KW ( 3000 V ), 2.5 KW ( ポニーモータ運転時 100V )
設 計 温 度	450°C ( 運転温度 : 370°C )
軸封方式	油循環複式メカニカルシール
軸シールガス	0.3 l/min Ar
液面制御方式	オーバフローライン溢流式

Table 2.2 Specification of Pump Maintenance Cask

## ポンプメンテナンスキャス主要目

## ① 本 体

型 式	円筒堅型(巻上げ装置内蔵)
概略寸法	1,800 <sup>ID</sup> × 9,000 <sup>L</sup> × 14 <sup>t<sub>mm</sub></sup>
主要材料	SUS 304
付属機器	巻上げ装置(手動可能)
	巻上げ荷重 25 ton
	巻上げ速度 0.3 m/min
	電 源 200 V AC 3φ × 50 Hz

## ② 中継管(I)

概略寸法	2,600 <sup>D</sup> × 2,600 <sup>H</sup> × 14 <sup>t<sub>mm</sub></sup>
付 属 品	ドアバルブ
主要材料	SUS 304

## ③ 中継管(II)

概略寸法	2,600 <sup>D</sup> × 2,300 <sup>H</sup> × 6 <sup>t<sub>mm</sub></sup>
主要材料	SUS 304
付 属 品	ベロー(シリコンゴム 2,560 <sup>D</sup> × 300 <sup>H</sup> × 4 <sup>t</sup> )

Table 2.3 Specification of MPI-ITV

## MPI-ITV 主要目

## ① カメラ本体

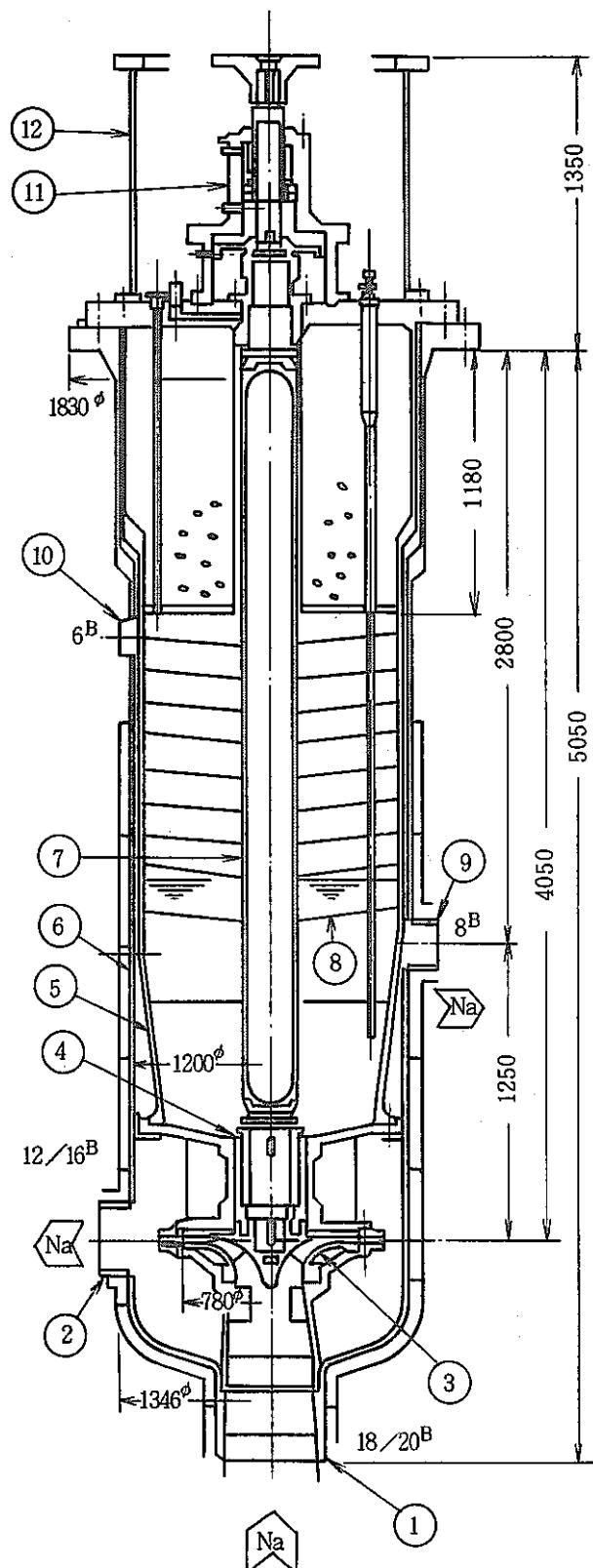
- ・型 式 TI-11BN(NEC)
- ・走査方式 2:1インターレース
- ・撮像管 S4102
- ・水平解像度 画面中央部にて500本以上
- ・最低被写体照度 0.5ルックス
- ・映像出力 1.0 V<sub>p-p</sub> 複合映像信号, 75Ω不平衡
- ・使用温度範囲 -10~50°C
- ・外径寸法 69<sup>H</sup>×92<sup>W</sup>×152<sup>D</sup> 約1kg (ACアダプタ含む)

## ② ズームレンズ

- ・型 式 J6-12R(キャノン)
- ・ズーム比 6×
- ・外径寸法 100<sup>Ø</sup>×131.5 約1.2kg

## ③ グローブボックス

- ・材質 炭素鋼 アクリル
- ・外径寸法 914<sup>□</sup>×2,000<sup>H</sup>
- ・設計圧力 0.1kg/cm<sup>2</sup>·g
- ・構成機器 カメラ上下動ユニット, ケーブルオートリール, 圧力計, グローブ
- ・作動範囲 上下ストローク 12m  
水平面上回転範囲 360°  
カメラ垂直偏角 0~90°
- ・操作方式 手動



12	モータマウント部
11	上部軸封部
5	インナーケーシング
4	ナトリウムペアリング
3	インペラ
2	吐出ノズル
1	吸入ノズル
10	Arガスノズル
9	オーバフロノズル
8	熱遮蔽板
7	シャフト
6	アウターケーシング

Fig. 2.1 Primary Main Pump

1次主循環ポンプ構造図

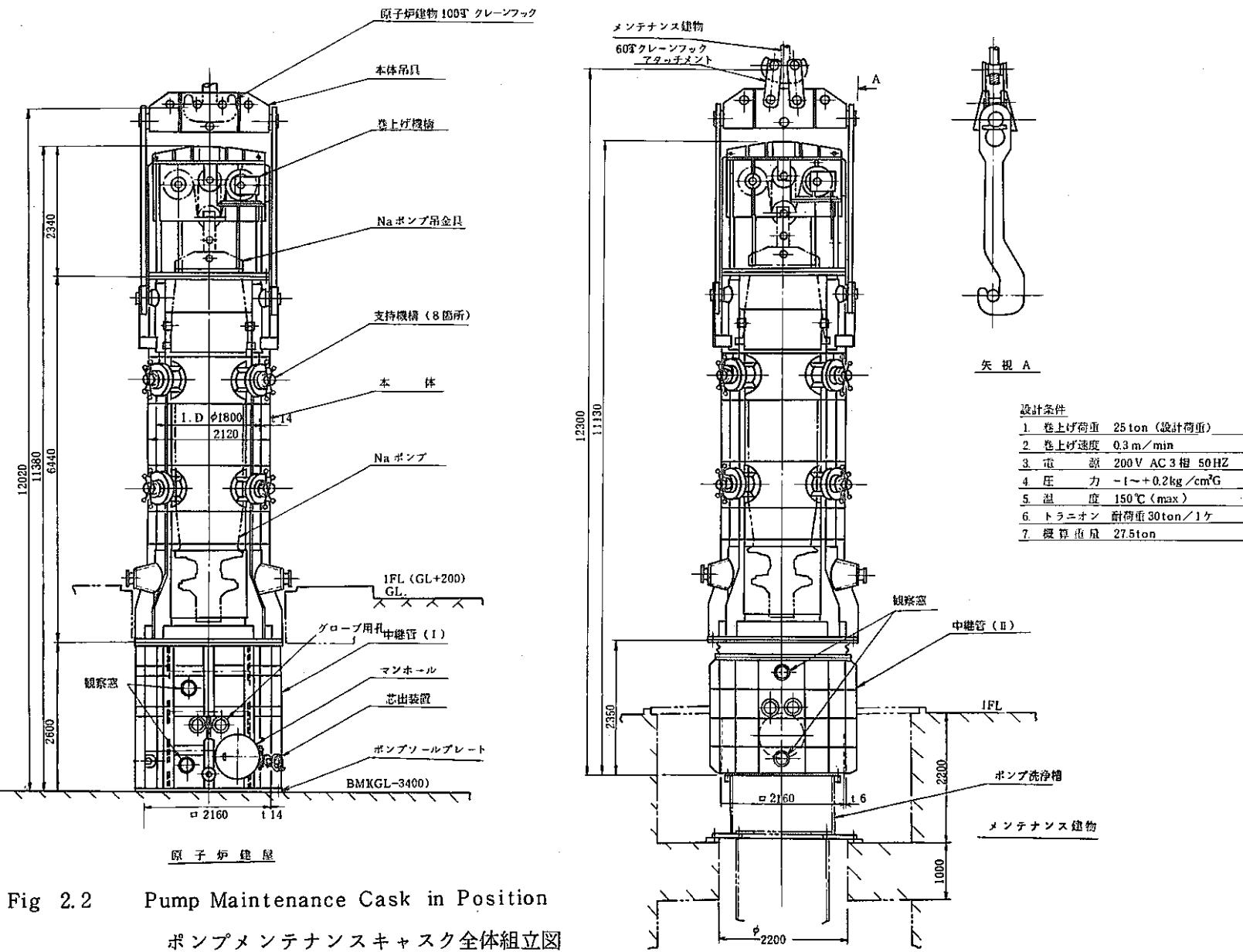


Fig 2.2 Pump Maintenance Cask in Position  
ポンプメンテナンスキャスク全体組立図

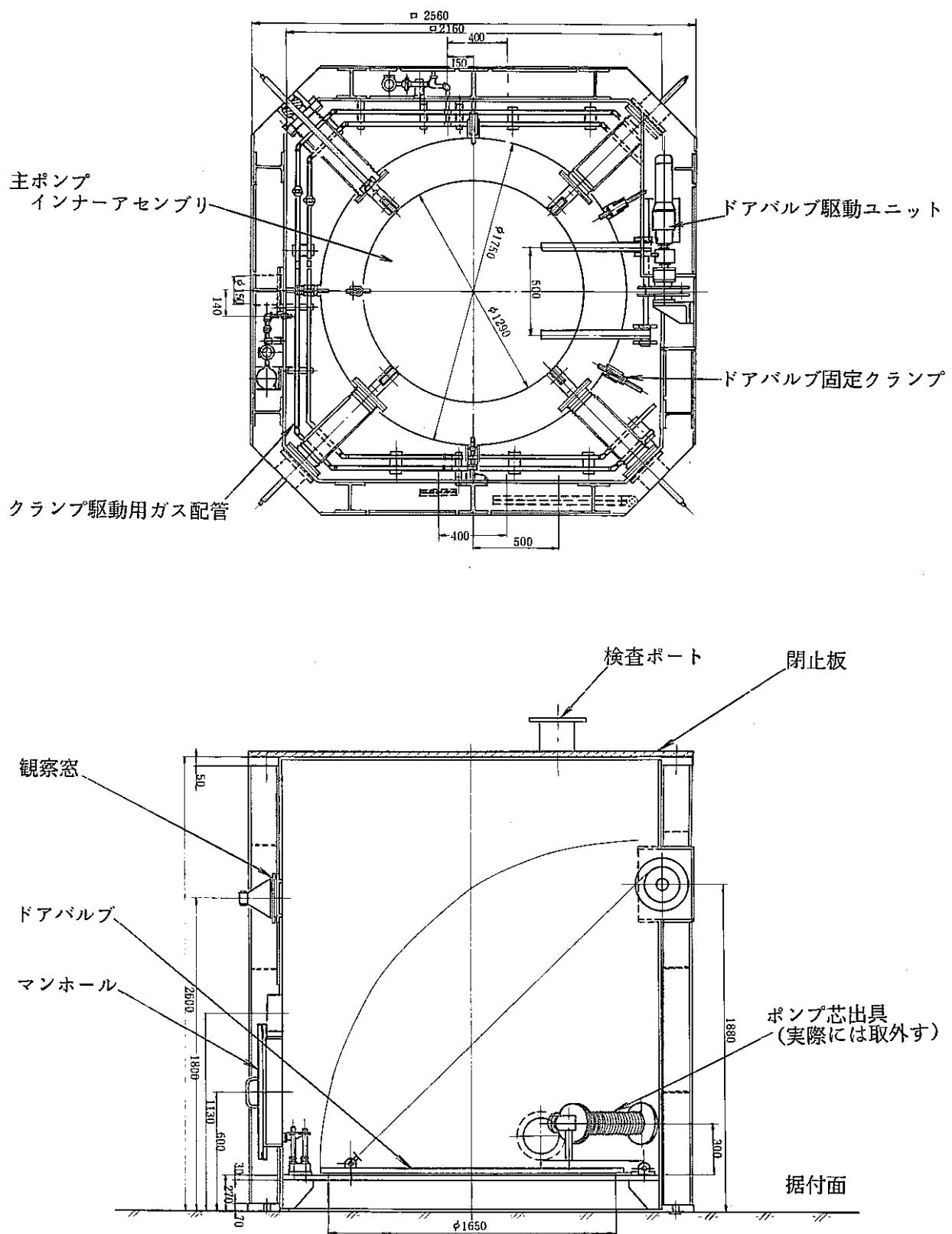


Fig. 2.3 Adapter Section (I)

中 繼 管 (I)

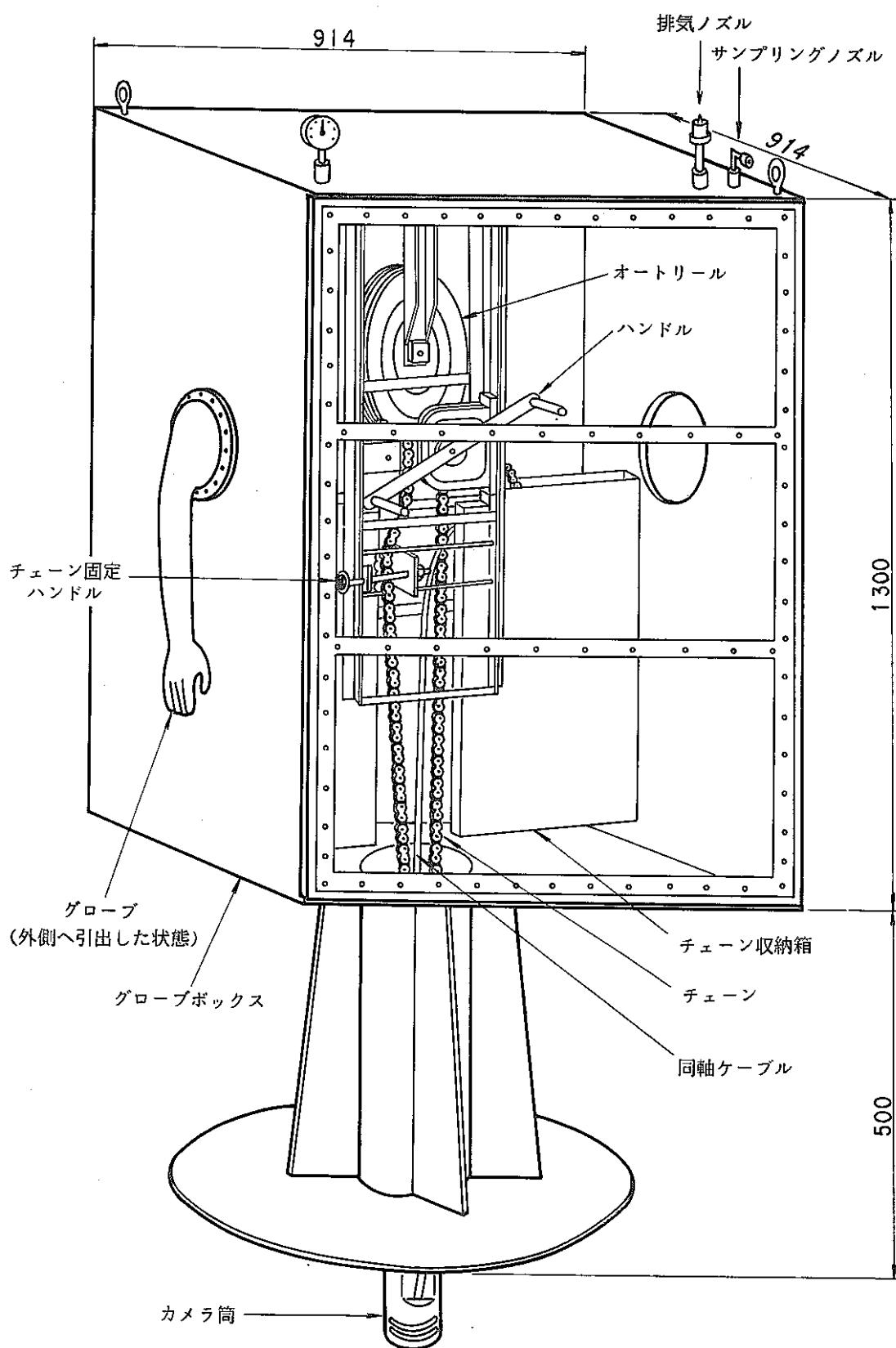


Fig. 2.4 Grove Box of MPI - ITV

グローブボックスの構造

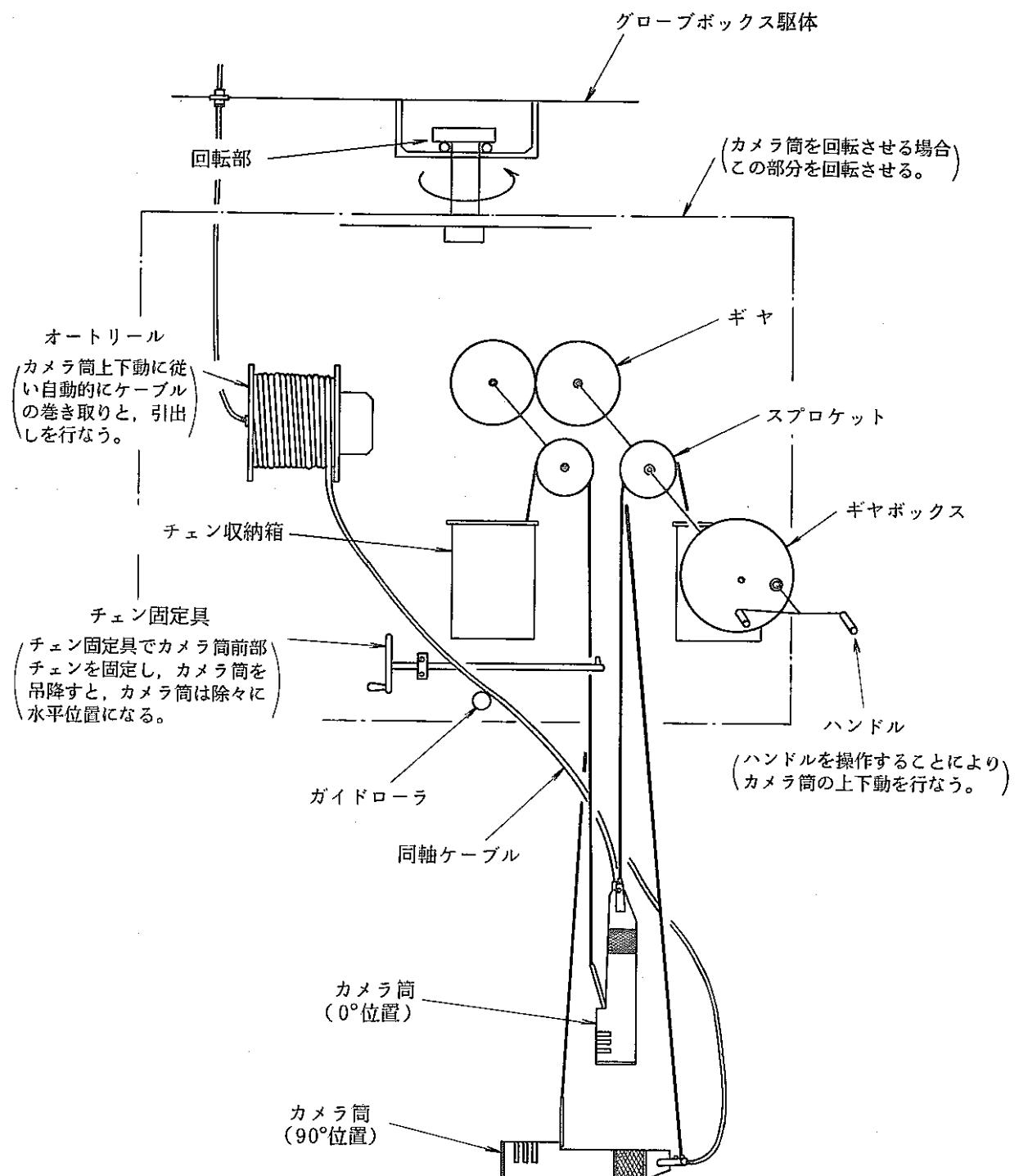


Fig. 2.5 Operation Mechanism of MPI - ITV

MPI - ITV の操作機構

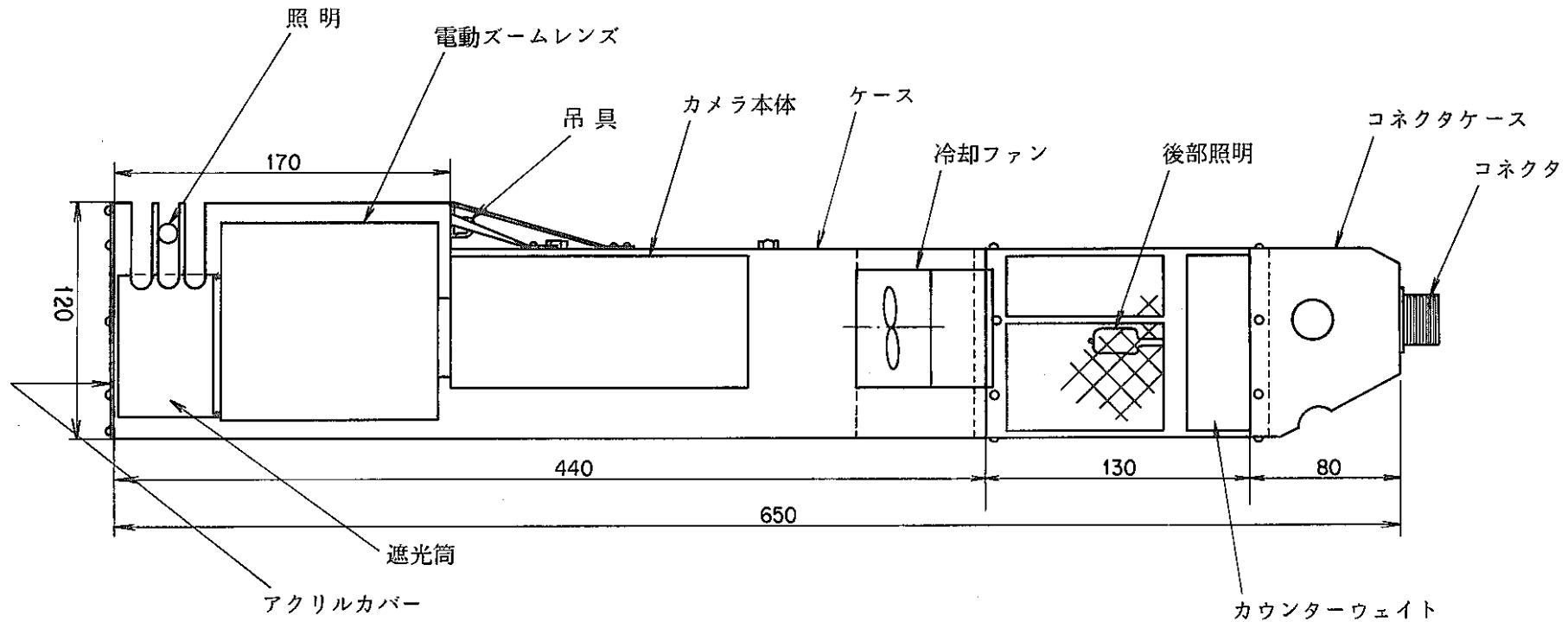


Fig. 2.6 Camera Cylinder

カメラ筒

### 3. 検査の方法

#### 3.1 検査手順

1次主循環ポンプA号機アウタークーシング内面検査は、メンテナンスキャスクを使用して、インナーアセンブリをアウタークーシングから引抜き、キャスクをメンテナンス建家へ搬出して中継管頂部へ閉止板を取付けた後、次の手順に従って行われた。

- (1) MPI - ITV の作動確認
- (2) MPI - ITV, ホース・ケーブル・カプラ等の格納容器内への搬入
- (3) グローブボックスの検査ポートへの取付け。
- (4) ホース・カプラ・ケーブル類, O<sub>2</sub>分析計の接続。
- (5) モニターTV, カメラコントローラ, ビデオレコーダの設置
- (6) 中継管(I)およびグローブボックス内Ar置換
- (7) 中継管(I)ドアバルブ開
- (8) カメラ筒吊降し、アウタークーシング内溶接線目視検査およびNaの付着状況の確認
- (9) カメラ筒引き上げ
- (10) 中継管(I)ドアバルブ閉
- (11) 供給側ホースをArガスから圧縮空気供給系へ継ぎ換え
- (12) 中継管(I)およびグローブボックス内空気置換
- (13) ホース類, O<sub>2</sub>分析計取外し
- (14) グローブボックス取外し
- (15) 検査ポートへ盲板取付

Fig. 3.1 にMPI - ITV を用いた目視検査の作業概要を示す。

#### 3.2 作業要領

- (1) MPI - ITV の機能確認

MPI - ITV の置き場所である原子炉付属建物内 A 511 (キャスクカーエリヤ) にてカメラ筒の動作確認を行った。

A 409 室 (キャスクカーポイント検査室) 天井ハッチ上へクレーンにてグローブボックスを吊上げ、グローブを操作して、カメラ筒を A 409 室へ吊降ろして行き、カメラ筒の垂直面角度調整、回転、吊降し、吊上げの各動作およびオートリールの動作チェックを行うと同時に、カメラ筒の照明の点灯状態もチェックした。その後、MPI - ITV, ホース・ケーブル類、ビデオレコーダ、モニターTV、カメラコントローラ等を格納容器内へ搬入した。

## (2) 据付け

中継管(I)閉止板上の検査ポート盲板を取り外しグローブボックスを据付けた。閉止板補強の配置から考えると検査ポート中心はポンプ中心と一致しないので、検査ポート位置決めにあたっては、吐出ノズルを見やすい位置とするようにした。このため、オーバフロノズルはカメラ筒を上下方向に動かした時に真上から見るような位置となった。また、カメラ筒首振角度は約 $20^{\circ}$ に、回転角度は約 $200^{\circ}$ に制限された。検査ポートとポンプの位置関係をFig. 3.2に示す。

その後Fig. 3.3に示すようにAr供給ライン、排気ラインをホース、クイックカプラを接続して系統を構成するとともに、排気側へO<sub>2</sub>分析計を取付けた。

なお、Arの供給は格納容器内Ar供給タンクより中継管(I)へ行っている。また、中継管(I)ドアバルブ開閉用ケーブルをメンテナンスキャスク操作盤へ接続した。

## (3) Arガス置換

中継管(I)とグローブボックス内の雰囲気を空気からArガスへ置換した。グローブボックスと検査ポートのノズルが8<sup>B</sup>で、グローブボックス内へカメラ筒を引き上げた状態では中継管(I)からグローブボックスへのガスの流れが妨げられるためにカメラ筒をドアバルブ上約1m程度まで吊下げた。

Ar置換は加圧-減圧法、連続ブロー法を組み合せて行ったが、グローブボックスの耐圧が0.1kg/cm<sup>2</sup>・gと低いことおよび排気側ホース径が小さくかつ、長大なこともあるて空気から0.4 vol% O<sub>2</sub>となるまでに2日間にわたり約12時間を要した。その後ドアバルブ開に備えて、1次カバーガス圧力とほぼ同じ0.01kg/cm<sup>2</sup>・gに調整した。

## (4) 検査

中継管(I)ドアバルブを開け、カメラの動作状況のチェックを兼ねて、除々にカメラ筒を吊り降ろして行き、その途中で適宜カメラ筒を停止し引き起こして、カバーガスノズル、オーバフロノズル、吐出ノズル、吸込ノズル、Na液面付近について、Na付着状況を観察した。次にFig. 3.4に示す溶接線の目視検査を行うため、一旦カメラ筒を引上げ、PW-1Aから順に検査が行えるようカメラ筒をほぼ1m毎に降下させ、引き起しおよび回転を行って検査した。縦溶接線についてはカメラ筒を固定したのち首振りを行って上部から下部へ順に目視していく。吐出ノズル溶接線は、カメラ筒を水平にすることができないため斜め上からズームを使用して観察した。吸込ノズルはノズル全体を上から観察した後、ズームを使って吸込配管内部も観察した。これらの映像はビデオレコーダに集録しビデオコントローラのモニターを適宜写真撮影した。

## (5) 空気置換、後片付

検査が完了しドアバルブを閉とした後、Fig. 3.3に示す供給ラインをArガス供給系か

ら圧縮空気供給系へ継ぎ換え、中継管(I)およびグローブボックス内を空気置換した。空気置換には(3)で示した理由等により 21 vol % O<sub>2</sub>となるまで約 7 時間を要した。

しかし、排ガス中のトリチウム濃度をバックグラウンドまで低下させるために更に 1 時間の置換が必要であった。空気置換終了後、ホース類の撤去、グローブボックスの取外し、搬出等の復旧作業を行った。

### 3.3 検査機材

Table 3.1 に今回使用した検査機材を示す。

### 3.4 作業工程

Table 3.2 に 1 次主循環ポンプ A 号機インナーアセンブリ分解点検と本作業との関連を含めた工程を示す。

Table 3.1 Inspection Equipments  
検査機材リスト

No.	品 名	仕 様	数 量	備 考
1	グローブボックス	CCTV カメラ上下駆動装置内蔵	1 台	
2	カメラ筒	TI-31ANCCTV. 照明内蔵	1 台	
3	カメラコントローラ	TMP417P モニター、カメラ操作SW内蔵	1 台	MPI-ITV システム
4	ビデオレコーダ	ピクターモデル8200	1 台	
5	モニターTV	12 in カラーTV	1 台	
6	フレキシブルチューブ	• 1/2 <sup>B</sup> カプラーメス 15 m • 1/2 <sup>B</sup> カプラーメス 10 m • 1/2 <sup>B</sup> フランジ 5 m • 1 <sup>B</sup> - 1/2 <sup>B</sup> カプラーオス/メス 5 m • 1 <sup>B</sup> 短管 - カプラーフランジ 接続 - 短管 1/2 <sup>B</sup> 合計 13 m	1 台	
7	ゴムホース	• 1 <sup>B</sup> カプラーメス/オス 2 m	2 台	
8	短 管	• 1/2 <sup>B</sup> フランジ - カプラオス • 1 1/2 <sup>B</sup> フランジ - カプラオス	1 台	
9	ケーブルドラム	8芯、カメラ～モニタ	1 式	
10	電工ドラム		1 台	電源用
11	机/イス		1 式	
12	ビデオテープ	60 分用 3/4 in トランク	3 本	ニューマチック
13	O <sub>2</sub> 分析計	日本硝子 P型	1 台	測定範囲 空気～1 ppm

Table 3.2 Inspection Schedule

## 検査工程

項目 日付	1月		2月										
	30	31	1	2	3	4	⑤	6	7	8	9	10	⑪
アウターケーシング内面 目視検査	MPI-ITV 機能確認 MPI-ITV 搬入 据付、配線・ホース接続 中継管(I)上作動テスト Ar 置換							検査			空気置換		装置撤去
主ポンプ(A)インナーアセンブリ 分解点検	ポンプ吊上げ、キャスク横転 キャスク搬出(R/B-M/B) ポンプ洗浄準備										メンテナンス建家内作業 ▽	新ポンプM/Bへ搬入	
検査に関する制限項目			Ar 供給系安全弁交換 Ar 供給不可				Ar 廃ガス系停止 排ガス放出不可						

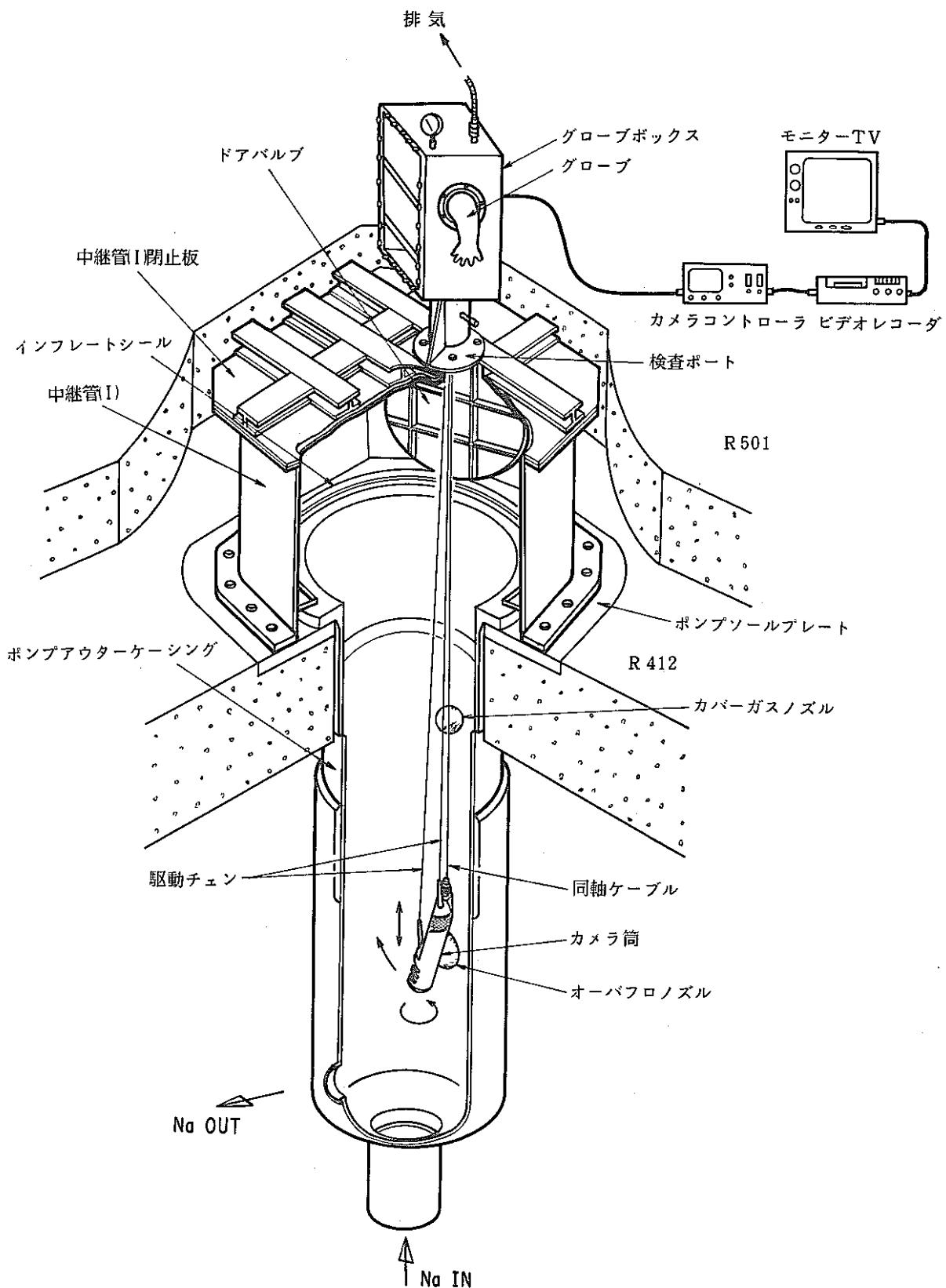


Fig. 3.1 Visual Inspection of Inner Surface of Pump Casing Using MPI - ITV  
MPI - ITV を使用したポンプアウターケーシング内面目視検査

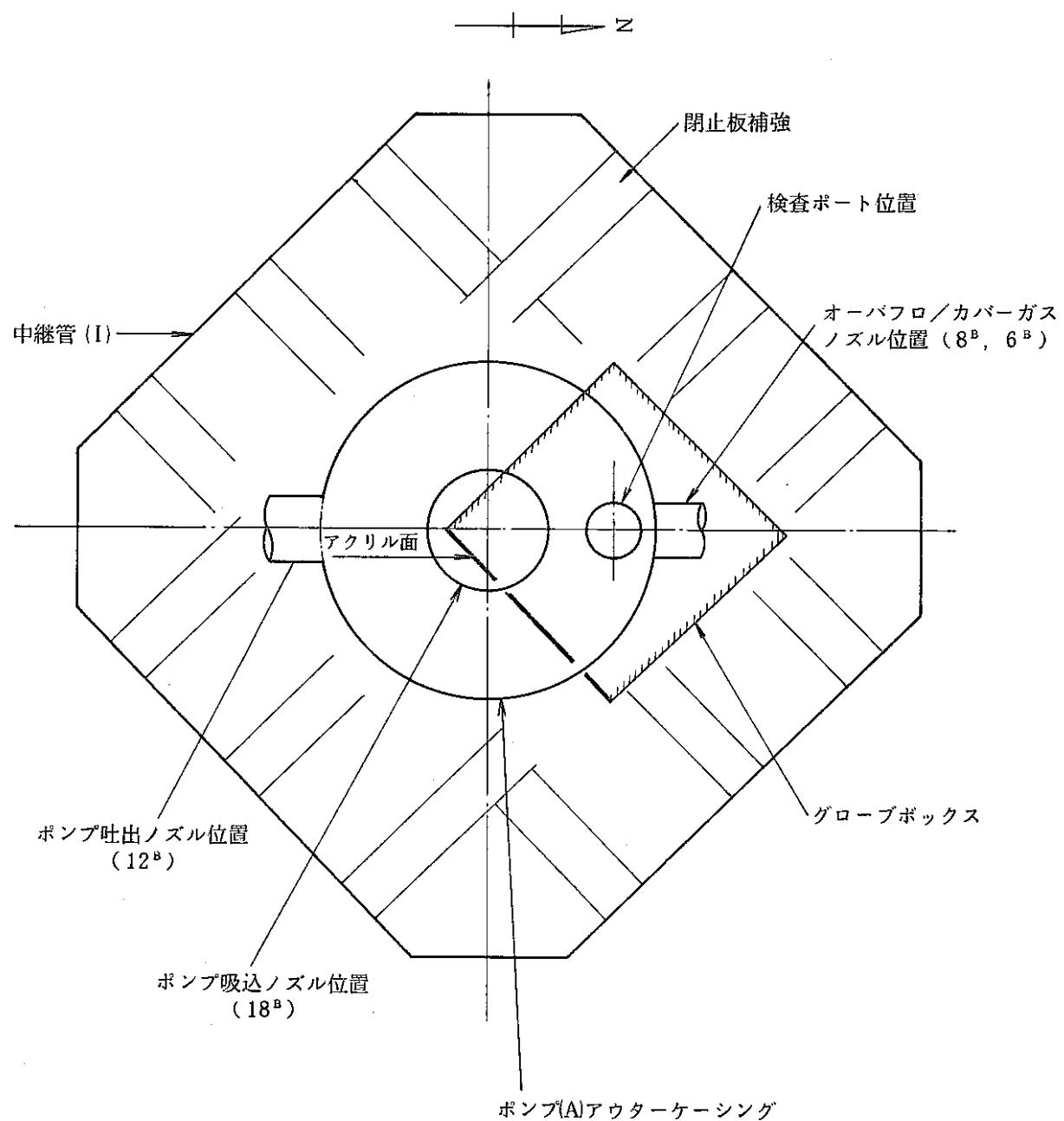
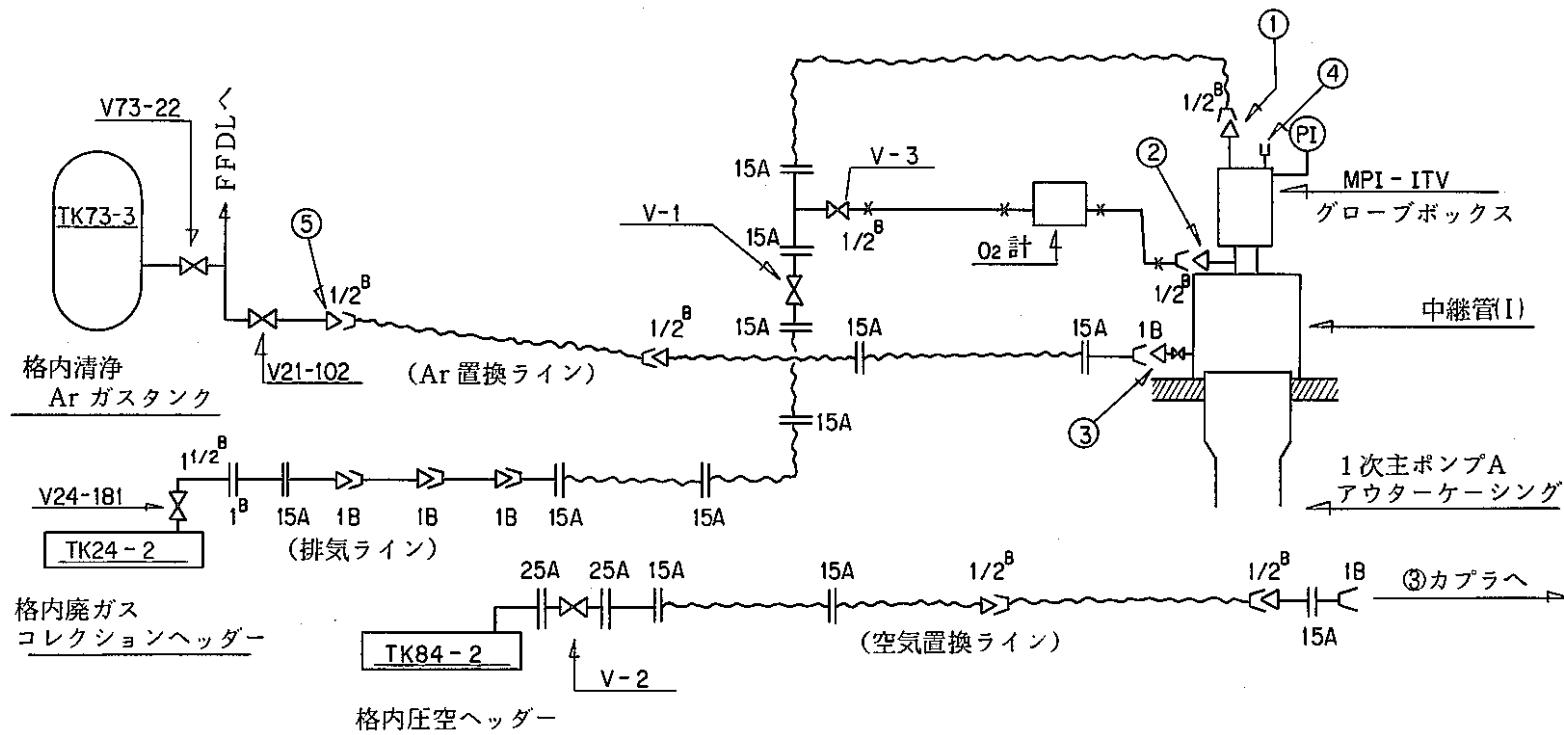


Fig. 3.2 Location of Inspection Port on Adapter Section(I)  
検査ポートの位置



図示記号	名 称	図示記号	名 称	図示記号	名 称
① →	ITV装置排気口	→ ⊗	バルブ	* — *	ビニールチューブ
② →	O <sub>2</sub> 計取入口	→	プラグカプラ(オス)	(PI)	圧力計
③ →	中継管(I)ガス供給口	— ⊥	ソケットカプラ(メス)	⊥	ソケット
④ →	ガスサンプリング口	— ⊥ 15A	フランジ取合		
⑤ →	清浄Arガス取入口	~~~~	フレキシブルホース		

Fig. 3.3 Temporary Piping Connection  
仮設配管の接続方法

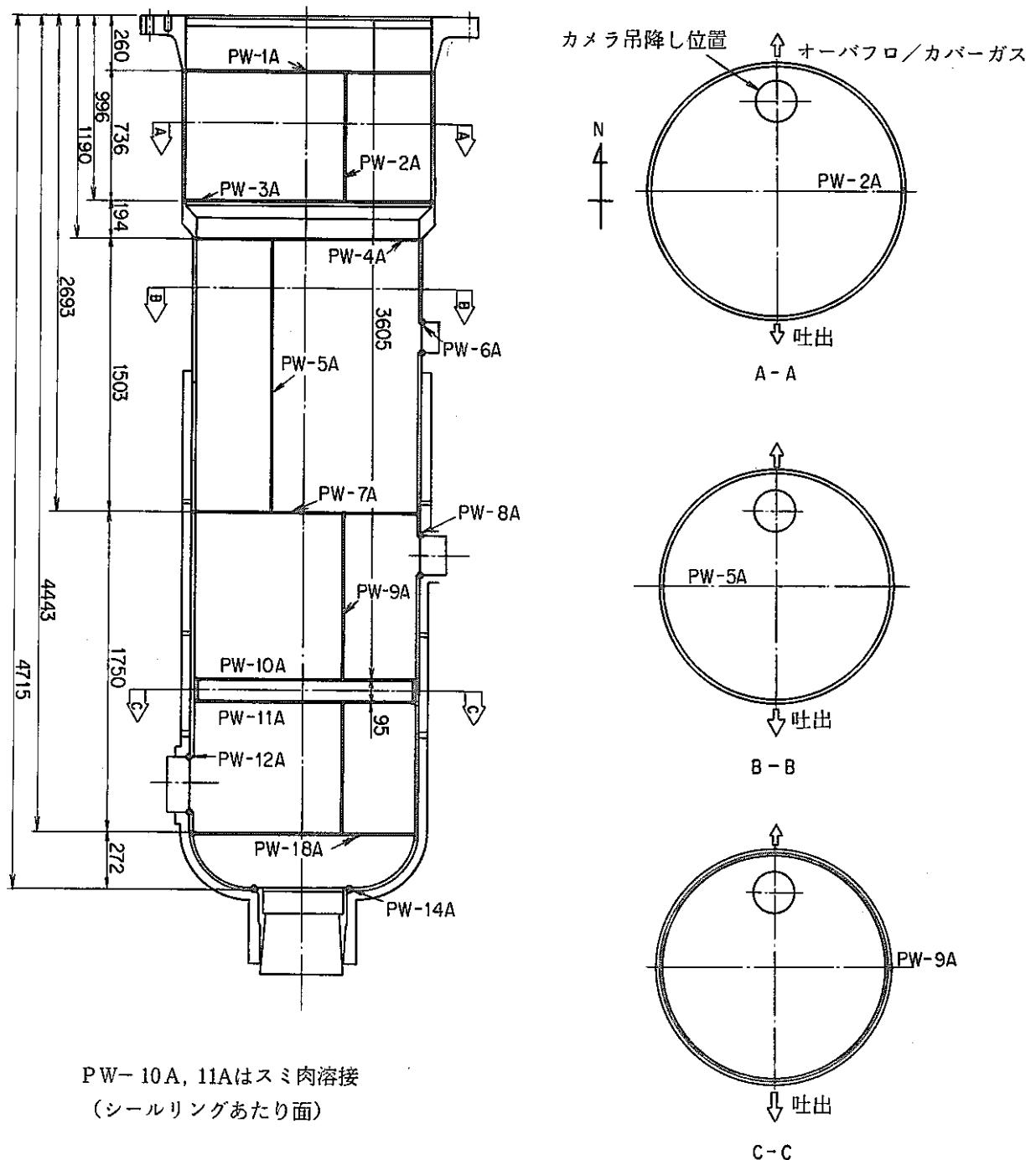


Fig. 3.4 Weld Locations of Pump Outer – Casing  
ポンプアウターケーシング溶接位置

## 4. 検査結果および考察

以下に述べる溶接部目視検査およびNa付着状況の観察をした時にカメラコントローラのモニタ画像を撮影した写真のうち代表的なものをPhoto 4.1～4.14に示す。

### 4.1 溶接部目視検査

(1) 検査対象となる溶接線は、周縫手の場合カメラ筒の回転角度が限定されていること、および綫縫手の場合は主にNa付着状況によりPW-1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 7A, 9A, 10A, 11Aは、その一部が検査できなかった。

またカバーガス、オーバーフロー、吸込み、吐出ノズルのうちカバーガス、オーバーフローノズルPW-6A, 8Aはカメラ筒の上下動位置直近にあるため、溶接線下側の一部のみ目視できた。吐出ノズルは、カメラ筒が水平にはならないため、PW-12Aの下半分の目視が可能であった。

吸込ノズルPW-14Aは全て目視でき、PW-12Aと同様、主配管との溶接部の一部についても目視することができた。その結果、いずれの溶接線にも割れ等の著しい欠陥は認められなかった。Fig 4.1に試験時のカメラ位置と写真撮影位置を示す。

(2) ポンプアウターケーシングの溶接方法は次の通りである。

PW- 1 A～	サブマージ溶接
PW- 2 A～	"
PW- 3 A～	"
PW- 4 A～	"
PW- 5 A～	"
PW- 6 A～	ティグ+アーク溶接
PW- 7 A～	サブマージ溶接
PW- 8 A～	ティグ+アーク溶接
PW- 9 A～	サブマージ溶接
PW- 12 A～	ティグ+アーク溶接
PW- 13 A～	アーク溶接
PW- 14 A～	ティグ+アーク溶接

当初付着Naにより溶接線が判別できるか否か心配されたが、いずれの溶接も裏はつりを行い、余盛があるので(グラインダ仕上げ)充分に判別することができた。ただし、Naがほとんど付着していない部分では、周囲が黒色(これはCP等の汚染によるものである。)

なのでモニター画像上では全く判別することができなかった。逆にNaが付着している個所では白い背景の中に溶接線が浮き上がって見えるため、判別できたものと思われる。

Naが付着していない黒色の部分はCPの汚染によるものである。これは1次主循環ポンプ分解点検時のインナーアセンブリ除染前後のCP分布の差、除染前の表面スミヤの測定結果で、拭き取った黒色物から高濃度の<sup>60</sup>Co、<sup>54</sup>Mnが検出されたこと、およびポンプ洗浄廃液中に含まれる黒色の混濁物から同様に<sup>60</sup>Co、<sup>54</sup>Mnが検出されたこと等の保守経験に基づいて判断した。

(3) 本検査はFBRプラントのISI規則であるASME Boiler & Pressure Vessel Code Section XI. Division 3. "Rules for Inspection and Testings of Components of Liquid-Metal Cooled Plant"（以下Div.3と略称）の目視検査VTM-3に相当するものと考えられる。VTM-3の試験評価のための基準によれば、溶接部について、健全性の喪失（これは、割れ等の表面上の欠陥を指していると考えられる。）を発見した場合、運転を続けてはならないことが明記されているが、Photo 4.3～4.8を見ても判るとおり、特に異常と思われる溶接部の欠陥は認められなかった。

これらの結果からMPI-ITVは、VTM-3の判定基準に対して十分対応することができる、および1次主循環ポンプ冷却材バウンダリの健全性を確認することができた。

(4) 1次主循環ポンプも含めた「常陽」1次主冷却系及び炉容器は2重構造となっており、しかも冷却材バウンダリは2重構造の内側にあるため、外側から溶接線へアクセスするには、リークジャケットの改造や保温材の撤去が必要で、「常陽」の1次系機器、配管のISIは極めて限定されている。その意味ではインナーアセンブリを引抜くという時期を把えて内側から目視検査を行うという方法は、MPI-ITVのような目視検査システムを使用すれば外側からアクセスすることに比べてはるかに簡単かつ有効である。

#### 4.2 Na付着状況

(1) 従来目視することのできなかった1次系機器・配管内のNaドレン状況が観察できた。アウターケーシング内は、Na液面以下の部分とカバーガス領域とでは明らかにNa付着状況が異っていた。また、アウターケーシング大径側（レデューサより上部）では、ポンプの偏芯の原因であるカバーガス対流によるものと思われる痕跡が認められた。主配管内部は吐出側、吸込側ともに完全にドレンされ、内部一面に残留しているNa厚さはかなり薄いであろうことが予想された。この他に特異な点としてケーシング鏡板部分に黒色の異物と思われるものが付着していた。

(2) 目視検査時にビデオに集録したフィルムから、ポンプアウターケーシング内のNa付着状況を判りやすいように示したのがFig.4.2である。Na付着状況についてFig.4.2およ

び添付した写真をまじえながら検討を加える。

以下に示す①等のNoはFig. 4. 2中のNoである。

- ① カバーガスの対流によるものと思われるNa残留痕跡がこの部分である。カバーガスの対流はNa自由液面より上の領域においてアウターケーシングとインナーアセンブリとからなる2重円筒空間を円周上180°相対して上下するカバーガスの流れである。このため、ケーシングの温度は上昇気流側ではカバーガスからの入熱により平均温度より高くなり、下降気流側では逆に熱を奪われ平均温度より低くなっている、ケーシングの同一円周上に温度差が生ずる。この周方向温度差によってインナーアセンブリの偏芯を招き、1次主循環ポンプのNa軸受等の摺動部における回転側と固定側とのこすれの原因となるもので第3回定期検時に対流防止対策を施したB号機に引き継いで、第4回定期検時にA号機に関しても対策が行われた。このあたかも旋回流に沿ってNaが付着したような部分の先端の位置は、A号機の対流防止対策の一環として追加した温度計取付位置（ポンプを上から見てカバーガスノズルと吐出ノズルを結んだ線上に相対して2点、およびこれから90°の位置の合計4点）からはやや外れている。これは新設した温度計取付点では必ずしも、カバーガス対流の上昇流側と下降流側位置の温度を正確にモニターしていないことを示している。この痕跡からカバーガスの対流状況を推察すれば、ポンプを上から見て反時計回りに円周上をガスが対流しポンプ吐出側が高温で、カバーガスノズル側へ流れるに従って温度が低下していくものと思われる。これは未だ対流防止対策が施されていなかった時のA号機の温度分布（通常運転時ポンプ吐出側がカバーガスノズル側より20°Cほど高いこと。）と傾向は一致している。
- ② カバーガスノズルと同じレベルのケーシング内面には一面に白くNaが付着していた。同じカバーガス領域でも、カバーガスノズルレベルとこれより上部のケーシング大径側とは、Na付着厚さが異なっていて、カバーガスノズル周辺部の方が厚く付着しているように見えた。
- ③ インナーアセンブリの据付位置から見て、インナーアセンブリのハンドホールから、熱遮蔽板に沿って吹き出したNaベーパを含んだカバーガスがアウターケーシングにあたった時に付着した痕跡である。
- ④ 反カバーガスノズル側でレデューサからNaがケーシングに沿って滴下した跡が見られた。
- ⑤ カバーガスの領域で、最も多くのNa付着が見られた部分である。位置はオーバフロノズルすなわちNa液面より約1m上にあり、これより下の部分では、温度が高く滴下してしまったものと考えられる。
- ⑥ ⑤の部分の一部に特異的にNaが堆積している部分があった。これは、長さの短か

いハンドホールの頂部付近にあたる個所で、液面付近の Na ベーパ濃度の高いカバーガスが吹き出してケーシングにあたった時に付着したものと思われる。

- ⑦ シールリングのあたり面で Photo 4.8 でもその一部を見る事ができる。Photo 4.8 ではシールリング当板ほぼ中央にインナーアセンブリを引き抜いた時に一箇にはがされた跡がある。この写真から、シールリングより上の Na 滞留部分とその下の Na 流動部分とでは明らかに Na 付着状況が異っている。

また、シールリングより上の部分の Na ドレン状況は、極めて良好であった。

- ⑧ 位置的にポンプ吐出ノズルを中心 Na が残留していたような痕跡が見られた。これは Photo 4.9 および Photo 4.10 にも見られる。残留痕は Na 液面レベルよりはるかに上でかつポンプ吐出側へ大きく持ち上っていることから Na 液面の跡ではない。これはインナーアセンブリを引き抜いた時に観察したインナーアセンブリ側の Na 液面付近の Na 付着状況から考えても明らかである。この原因として、インナーアセンブリ引抜作業を行うために系統を冷却するため、予熱 N<sub>2</sub> ガスの通気を停止したが、カバーガス配管やオーバーフロ配管のヒータはこれより約 1 週間遅れて OFF とされたため、ケーシングに温度分布が生じ両方のノズルに近いケーシング側の Na は滴下し、反対側の低温側の Na が残留したものと考えられる。

- ⑨ Na 流動側は、全面に白く一面に付着していたが、吸込配管を介してドレンされるために、ドレン性は良く、Na が堆積していたり、部分的に厚く残留していた個所は見られなかった。

- ⑩ この部分はインナーアセンブリのサクションノズルがはめ込まれていた個所であり、サクション側シールリングとのこすれ跡が見える。同時に 1 次主配管内部も見ることができたが垂直配管であることもあり、良くドレンされていてポンプと 1 次主配管との取合部である溶接線の裏ビードも明瞭に目視することができた。これは Photo 4.12 で見ることができる。Photo 4.13 では、吸込ノズルを囲むようにある規則的な模様が見られたが、ケーシングの鏡板にはこの模様に準じた加工跡等の痕跡はないので Na が吸込配管を介してドレンされた時の最終段階で生じたヒケによるものではないかと思われる。この他に特異なものとして Photo 4.14 に示したように異物と思われるものが付着していた。その位置は吐出ノズルを中心に時計廻り側 15°、反時計廻り側 45° の 60° にわたりており、鏡板の湾曲部分であった。異物の成分は明らかではないが、370 °C の Na 中にあっても残っているので、金属またはそれに準じたものであろう。

形状から考えると切削粉等とは違うものと考えらる。その大きさも、大きなもので 1 mm 以下 (Photo 4.14 ではズームで撮影しているので実際のものより大きい。) であり、付着の範囲も限られているので、直ちに問題となるものではないと考えられる。

⑪ Photo 4.11 は、吐出ノズルを斜め上から見たものである。1次主配管のうち水平配管においても Na が良くドレンされていることが判る。また吐出ノズルと主配管との溶接線の裏ビードの一部も明瞭に目視できた。

以上のように 1 次主循環ポンプアウタケーシング内部を目視した結果から、部分的な Na 残留等もなく、極めて良好なドレンがなされたことが改めて確認された。また 1 次主配管内の Na 付着状況を推察するに足る観察結果が得られ、この結果は例えば 1 次主配管の体積検査、特に超音波探傷試験を行う時の板裏表面付近に欠陥があった時のデータ評価に有効ではないかと思われる。

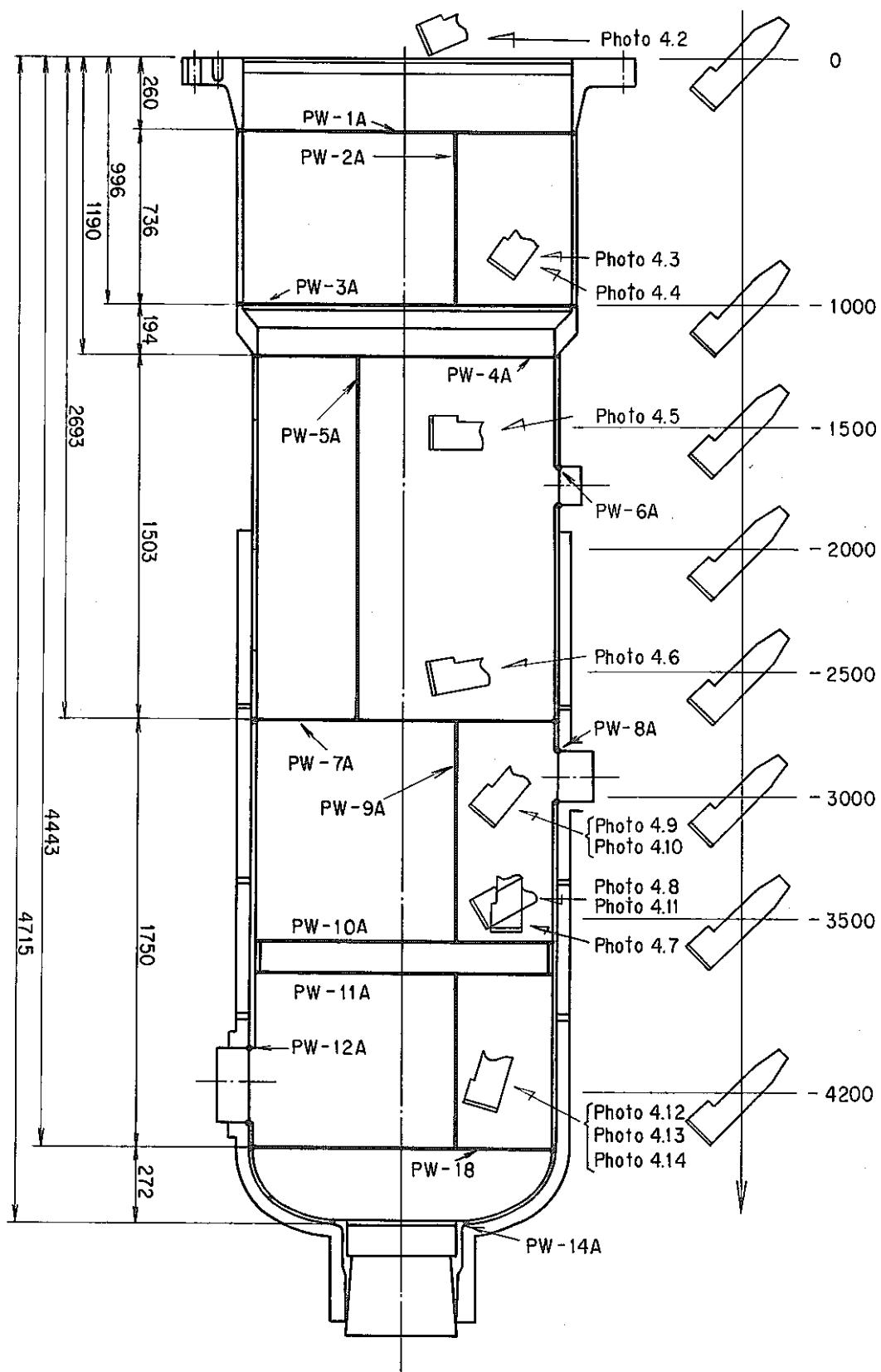


Fig. 4.1 Locations of Camera Cylinder at Visual Inspection  
目視検査時のカメラ筒の位置

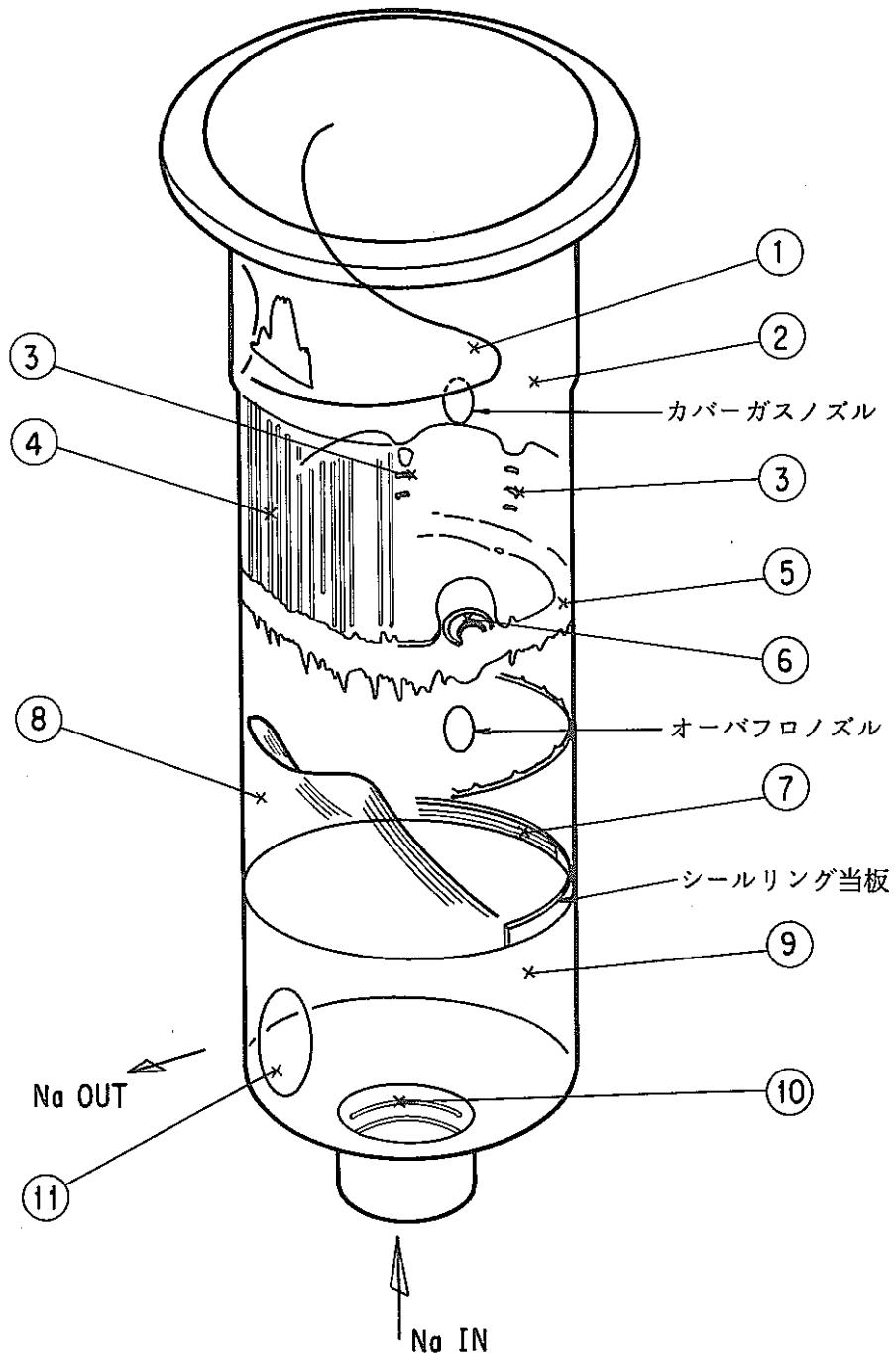


Fig. 4.2 Sodium Deposition on Outer - Casing Inner Surface  
アウターケーシング内面の Na 付着状況

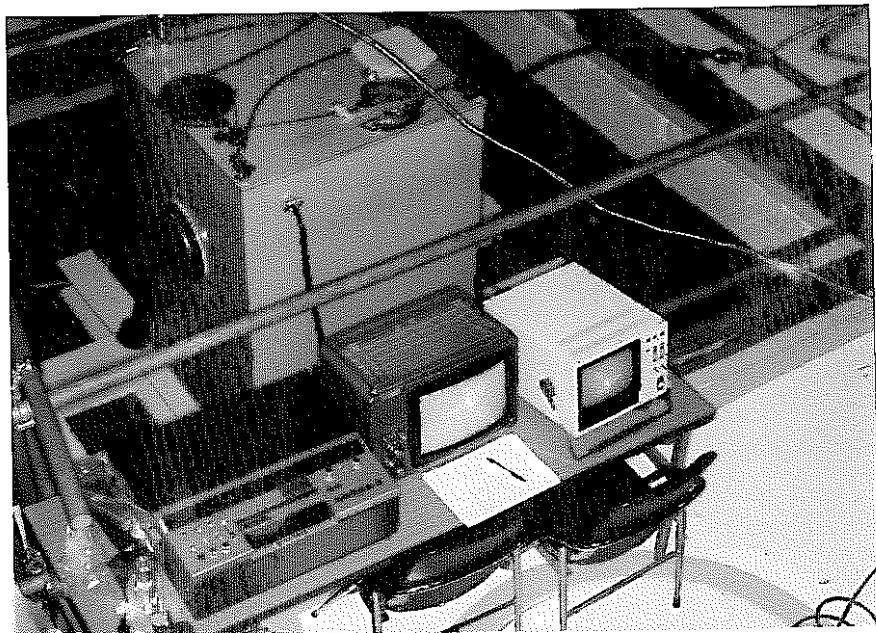


Photo 4.1      MPI-ITV  
MPI-ITV 装置

中継管閉止板に据付けられたグローブボックスとモニター類、右からカメラコントローラ、モニターTV、ビデオレコーダでモニターTVは画像を実体と合せるため、逆さまに置いてあるのに注意。

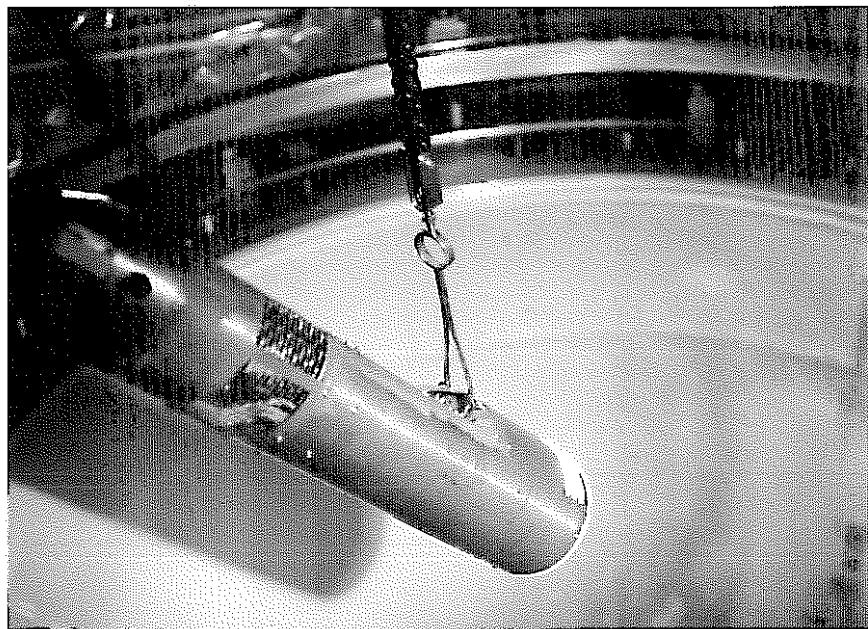


Photo 4.2      Camera Cylindar  
PW-1A検査中のカメラ筒

ドアバルブを開として最初の溶接線である PW-1A を検査中であるカメラ筒を中継管(I) 観察窓から撮影したところ。

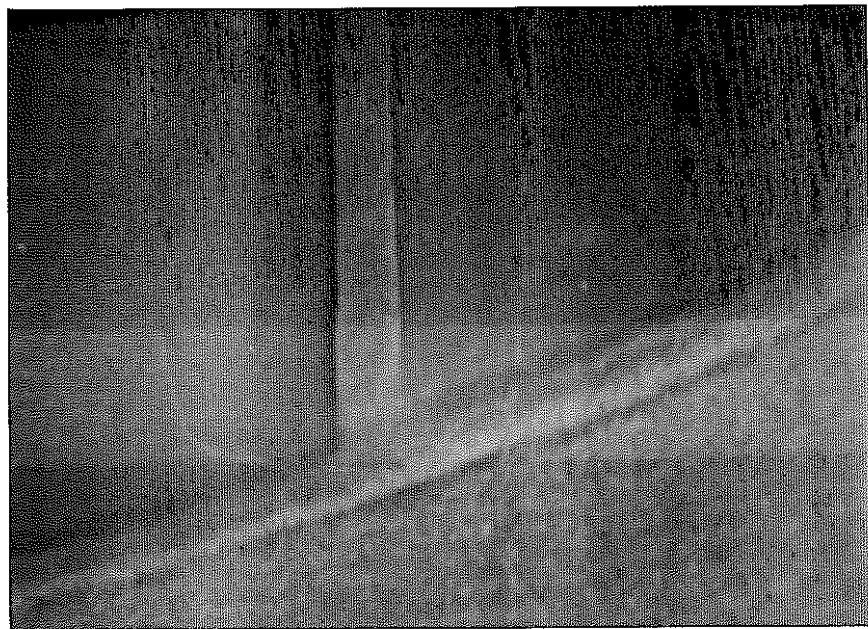


Photo 4.3      Weld No. PW-2A, 3A  
                  PW-2A, 3A

PW-2A(縦シーム)とPW-3A(周シーム)の重なり部分である。全体に白く見えるのはNa。

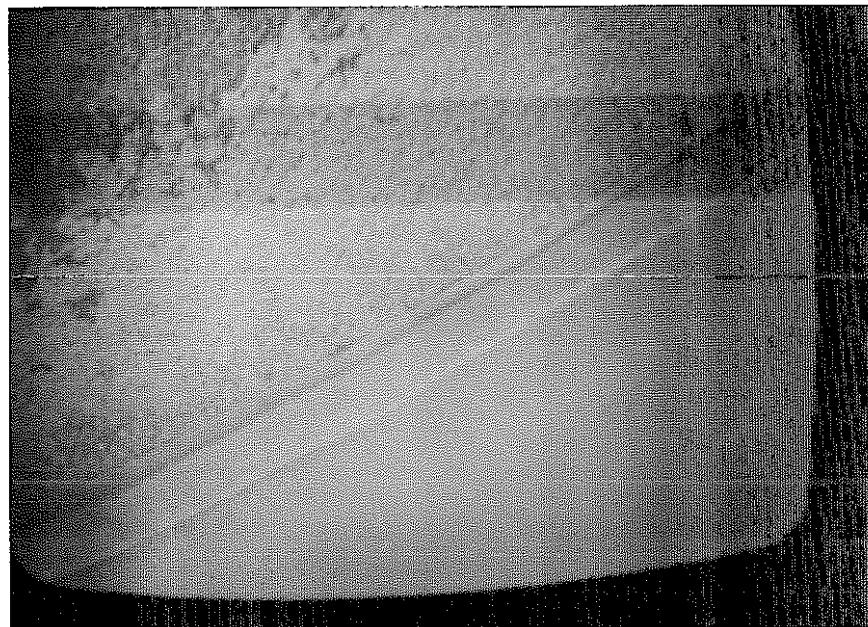


Photo 4.4      Weld No. PW-4A  
                  PW-4A

PW-4Aで、ビードより上部はレデューサ(鍛造品)、下部は板材のため  
Na付着状況が異なっている。これは表面仕上精度の差によるものである。  
(レデューサ側の方が仕上げが荒い)

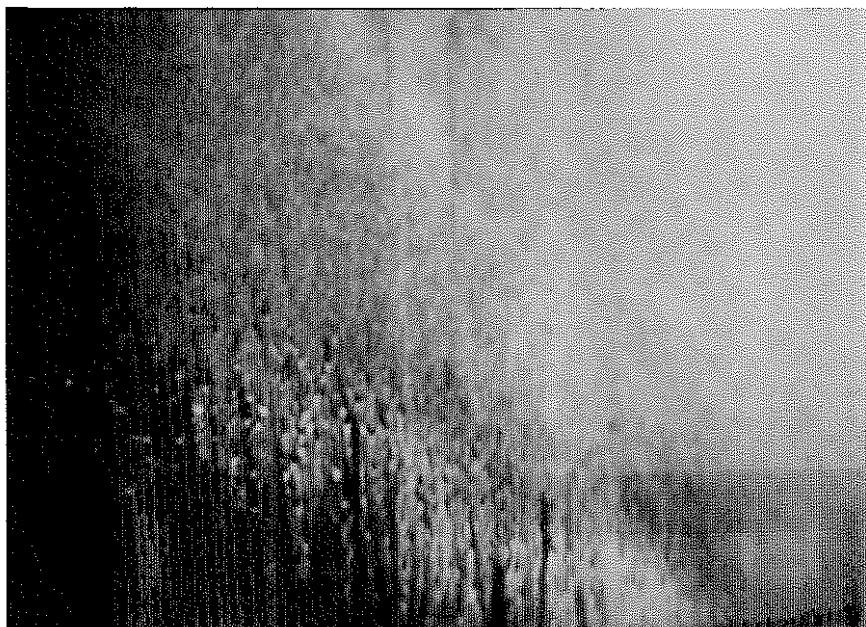


Photo 4.5      Weld No. PW-5 A

溶接線No. PW-5 A

中央部に見えるのがPW-5 Aであるが下部はNaが滴下していて、ビードを明確に判別することができない。



Photo 4.6      Weld No. PW-7 A

溶接線No. PW-7 A

PW-7 Aはオーバフロノズルよりやや上部に位置する周ビードである。

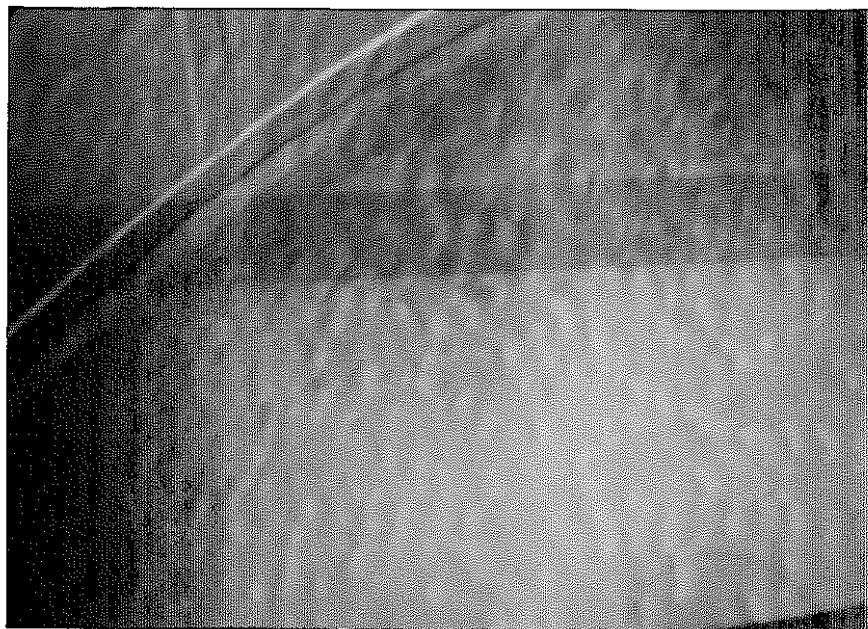


Photo 4.7 Weld No PW-9A, 13A  
溶接線No PW-9AとPW-13A

ポンプ鏡板の溶接線 PW-13A と胴縫シーム PW-9A との合せ部である。  
ビード表面のブラインダー仕上げによると思われる凸凹が判る。

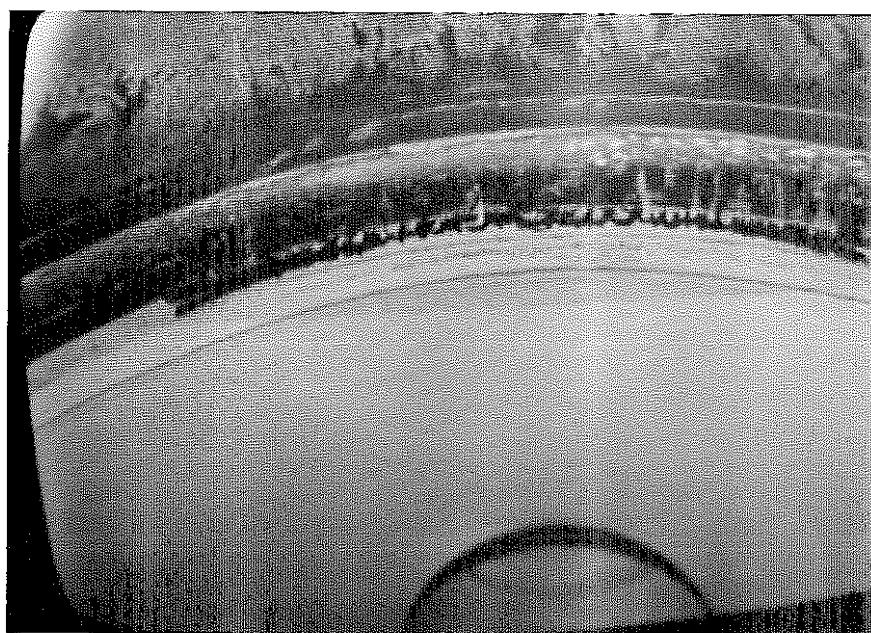


Photo 4.8 Weld No PW-10A, 11A  
溶接線No PW-10AとPW-11A  
シールリング当板の溶接線 PW-10A と 11A である。

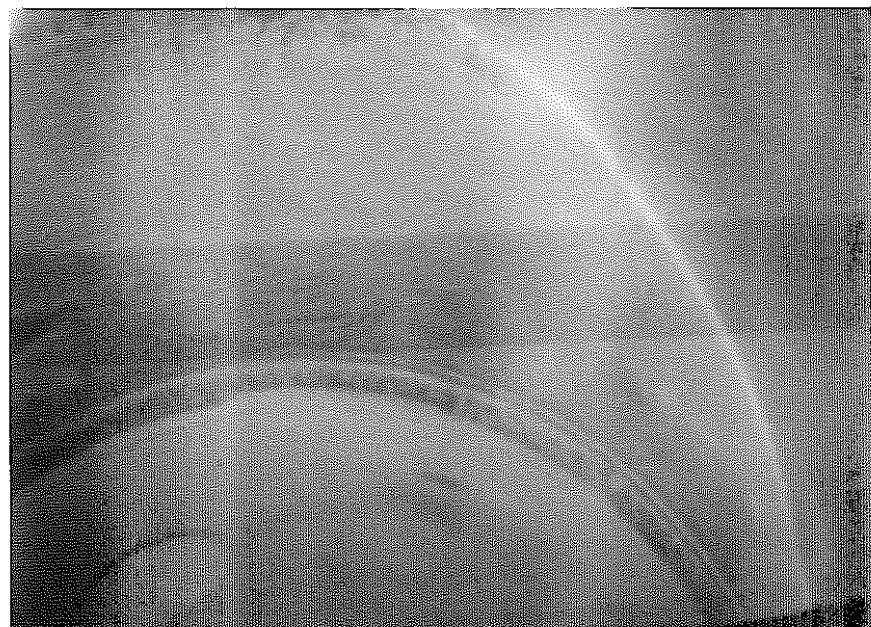


Photo 4.9 Sodium Deposit on Outer-Casing Inner Surface

Na付着状況

吐出ノズルを中心として特異な Na 付着が見られた。



Photo 4.10 Sodium Deposition on Inner Surface of Outer-Casing

Na付着状況

Photo 4.11 の左側である。

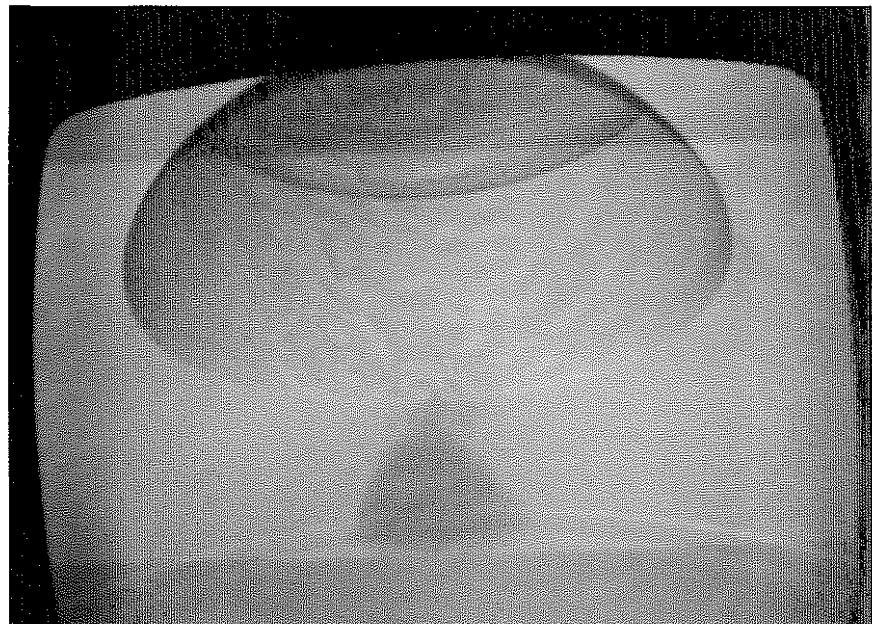


Photo 4.11 Sodium Outlet Nozzle

Na吐出ノズル

吐出ノズルを斜め上から撮影したものでノズル内部に配管との接続線も見える。

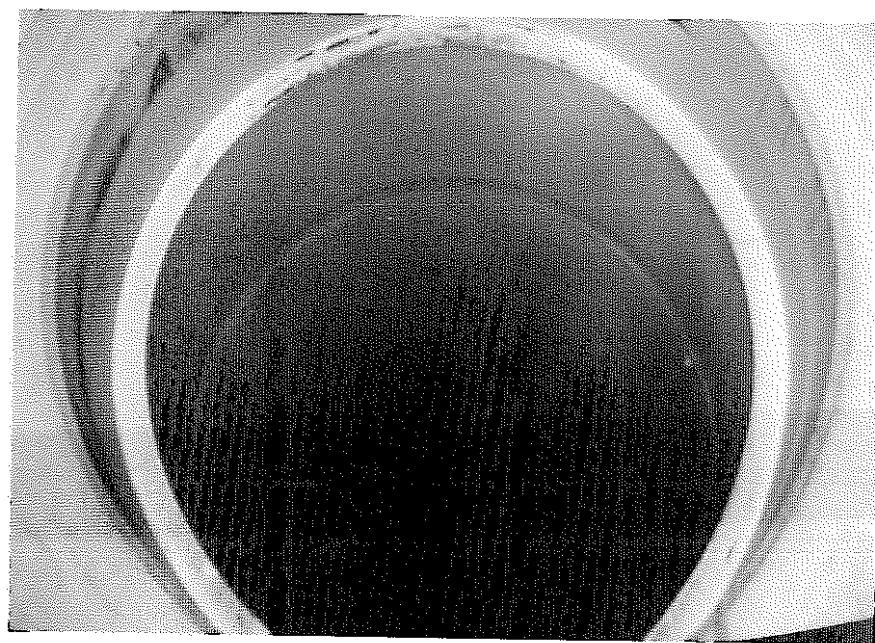


Photo 4.12 Sodium Inlet Nozzle

Na吸込ノズル

ポンプアウターケーシングのドレン状態がよく判る写真である。アウターケーシングを見た限りでは1次系は良くドレンされている。内部に主配管との接続線が見える。

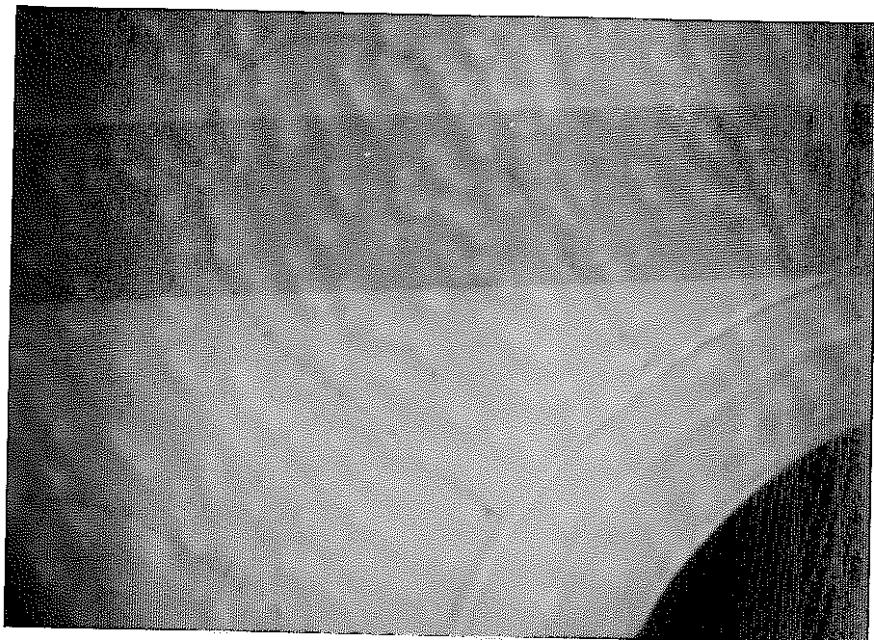


Photo 4.13 Sodium Deposit Surrounding Inlet Nozzle  
吸込ノズル周りのNa付着状況  
Na ドレン時にできたヒケによる模様



Photo 4.14 Unknown on End Plate  
鏡板部分に見られた異物  
吐出ノズルの位置を中心に約 60° の範囲に異物と思われるものが発見された。

## 5. 結 言

第4回定期検査期間中に I S I として、インナーアセンブリを引き抜いた後の1次主循環ポンプA号機アウターケーシング内へカメラを吊り降し、冷却材バウンダリである溶接部のNa接液側および従来見ることのできなかった1次系機器内部のNaドレン状況を確認した。その結果、次のような所見を得た。

- (1) アウターケーシング溶接線Na接液側では、MPI-ITVを使用してDiv. 3 VTM-3相当の検査を行い評価することができた。検査結果で、特に異常と思われる欠陥は認められなかつたことから、1次主循環ポンプ冷却材バウンダリの健全性は確認された。
- (2) 「常陽」のように2重構造の内側に冷却材バウンダリが存在するループ型FBRでは、今回の検査のように、インナーアセンブリを引き抜くという時期をとらえて内側から目視検査する方法が有効かつ簡単である。
- (3) 1次主循環ポンプだけでなく、1次主配管についても良好なNaドレンがなされていることが、目視により確認できた。

## 6. 謝　　辞

MPI-ITV の整備及び取扱に関して原子炉第1課燃取グループ諸氏の協力を得たことを感謝します。

また、東興機械工業株式会社の諸氏には作業実施、報告書作成を通じて協力を得たことを感謝します。