

伊方発電所第3号機  
1次冷却材ポンプ3Bの第3シールのリークオフ流量  
増加について

平成28年8月  
四国電力株式会社



## 1. 件名

伊方発電所第3号機 1次冷却材ポンプ3Bの第3シールのリークオフ流量増加について

## 2. 事象発生の日時

平成28年7月17日 9時20分

## 3. 事象発生の設備

3号機 1次冷却材ポンプ3B

## 4. 事象発生時の運転状況

3号機 第13回定期検査中

## 5. 事象発生の状況

定期検査中の伊方発電所第3号機は、1次冷却材ポンプの調整運転を実施していたところ、平成28年7月16日11時20分、1次冷却材ポンプ3Bの第3シールリークオフ流量が増加するという事象が認められた。

このため、当該ポンプの第3シールのシート状態を改善するための調整作業を実施したが、運転状態を改善することができなかつたため、7月17日9時20分、当該シールを予備品に取り替えることとした。

その後、当該ポンプのパージ水を隔離し、第3シールリークオフの停止を確認した。

なお、本事象による周辺環境への放射能の影響はなかつた。

(添付資料-1、2、3)

## 6. 事象の時系列

平成28年7月8日

3時50分

1次冷却材ポンプ3B起動（運転状態異常なし）

平成28年7月9日

2時00分

1次冷却材ポンプ3B停止

平成28年7月11日

～15日

原子炉格納容器全体漏えい率検査実施  
(改造工事に伴う耐圧検査含む)

平成28年7月16日

11時20分

1次冷却材ポンプ3B起動  
第3シールリークオフ流量が増加

11時21分

「RCP第3シールリークオフ流量高」警報発信  
1次冷却材ポンプ3B停止

12時21分

1次冷却材ポンプ3Bの第3シールのシート状態を改善するための調整作業を開始

平成28年7月17日

9時20分

調整作業を実施したが、運転状態を改善することがで

16時04分 平成28年7月18日 0時00分

きなかったため、当該ポンプの軸シールの取替を決定  
1次冷却材ポンプ3Bパージ水停止  
1次冷却材ポンプ3B第3シールリークオフの停止を  
確認

なお、1次冷却材ポンプ3Aについては、第3シールリークオフ流量について異常は見られなかった。1次冷却材ポンプ3Cについては、原子炉格納容器全体漏えい率検査実施後、第3シールリークオフ流量の増加が確認されたが、調整作業により運転状態を改善することができた。

## 7. 状況調査結果

### (1) シート状態改善のための調整作業

1次冷却材ポンプ3Bの第3シールのシート状態を改善するため、オイルリフトポンプの起動停止、ハンドターニング、寸動運転等を実施したが、第3シールのシール性は改善しなかった。

### (2) 第3シールリークオフ水の分析

第3シールリークオフ水の分析を行った結果、1次冷却水に含まれる放射性核種およびほう素は検出されず、第2シールからの漏えいはないことを確認した。

### (3) 第3シールリークオフ流量計の調査

第3シールリークオフ流量については、7月16日11時20分の1次冷却材ポンプ3B起動前後において、パージ水流量および第2シールリークオフ流量の変動と対応するように変動していることから、第3シールリークオフ流量計の誤指示ではないことを確認した。

### (4) 事象発生時の運転パラメータ調査

今回の事象発生時、封水注入流量および封水戻り流量は許容値内であったことを確認した。また、第2シールリークオフ流量については、事象発生まではパージ水流量と一致していたが、1次冷却材ポンプ3B起動直後に第3シールリークオフ流量が増加したことに伴い流量が減少し、指示値が $0\text{ m}^3/\text{h}$ となっていたことを確認した。なお、第2シールリークオフラインのスタンドパイプは、第3シールリークオフラインよりも高い位置に設置されているため、第3シールのシール機能が喪失した場合は、パージ水が第3シールリークオフラインに優先的に流れることになる。

(添付資料-4、5)

### (5) 点検実績調査

1次冷却材ポンプ3Bの軸シールは、今回の定期検査にて分解・組立点検を実施しており、重大事故等時の高温高圧条件下での耐力を向上させた改良型シ

ールに取替えている。また、第3シールの組立点検記録を調査した結果、外観・目視点検結果および寸法計測結果等に異常は認められなかった。

(添付資料-6)

#### (6) 運転履歴調査

1次冷却材ポンプ3Bは、今回の定期検査にて分解・組立点検を実施した後、1次冷却材水質調整のために約1日間運転しており、その間、第3シールリークオフ流量に異常は認められていない。

その後、原子炉格納容器全体漏えい率検査(以下、「CVLRT」という。)のために1次冷却材ポンプ3Bを停止し、7月16日に再度起動したところ、第3シールリークオフ流量が増加した。

今回のCVLRTにおいては、格納容器スプレイ配管耐震性向上工事に伴い溶接作業を行った原子炉格納容器(以下、「CV」という。)の耐圧検査を実施するために、CVの圧力を、通常よりも高い318kPaまで加圧していた。また、第2シールから第3シール間はCV雰囲気と分離されており、第3シールに外部から高い圧力がかかる系統構成となっていたことを確認した。

(添付資料-4、7、8)

### 8. 詳細調査結果

今回の事象は、7.(2)、(4)より、第1、第2シールが原因ではなく、第3シールに問題が生じたものと考えられることから、第3シールのシール性について、要因ごとに以下の調査を実施した。

(添付資料-9)

#### 8.1 シール面からのリーク

##### (1) シール面不良

##### a. シール面のなじみ不足

###### (a) 運転履歴

1次冷却材水質調整時のリーク量は許容値内であったことを確認した。

##### b. シール面の面荒れ

###### (a) 組立点検実績

至近の組立点検記録より、シール面に面荒れ等の異常がなかったことを確認した。また、カートリッジシールリークテスト(以下、「リークテスト」という。)時のリーク量が許容値内であったことを確認した。

###### (b) 分解点検

分解点検の結果、シール面に面荒れ等の異常がないことを確認した。また、シール面の摩耗量が許容値内であることを確認した。

##### c. シール面のゆがみ

###### (a) 組立点検実績

至近の組立点検記録より、シール面にゆがみ等の異常がなかったことを確認した。また、リークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。

###### (b) 分解点検

分解点検の結果、シール面にゆがみ等の異常がないことを確認した。

(2) 面開き

a. シールランナーの傾き

(a) 組立不良

イ. 組立点検実績

至近の組立点検記録より、組立後のリークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。

(b) シールランナーとスリーブ間の異物噛み込み

イ. 組立点検実績

至近の組立点検記録より、組立時に異物がなかったことを確認した。また、リークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。

ロ. 分解点検

分解点検の結果、シールランナーとスリーブ間に異物等の噛み込み痕がないことを確認した。

b. シールリングの傾き

(a) 組立不良

イ. 組立点検実績

至近の組立点検記録より、組立後のリークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。

(b) スプリング反力の不均一

イ. 組立点検実績

至近の組立点検記録より、スプリングに異物の残留、付着等がなかったことを確認した。また、リークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。

ロ. 分解点検

分解点検の結果、スプリングの自由長および着座状態等に異常がないことを確認した。

(c) インサート部のOリング摩擦大

イ. 組立点検実績

至近の組立点検記録より、組立時に異物がなかったことを確認した。また、リークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。

ロ. 分解点検

分解点検の結果、Oリングにむしれおよびねじれ等はなく、線径および硬度の計測結果も計画値どおりであったが、シールリングの傾きが確認された。また、シールリング動作確認において、シールリングが固着して動かない状態であったことから、Oリングの噛み込み等により摩擦が大きくなっていた可能性がある。

(添付資料-10)

c. シール面の異物噛み込み

(a) 組立点検実績

至近の組立点検記録より、シール面に異物がなかったことを確認した。また、リークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。

(b) 分解点検

分解点検の結果、シール面に異物付着等の異常がないことを確認した。

d. シールリングの追従不良

(a) シールリング拘束力大

イ. ドライブピン接触による拘束力大

(イ) 組立点検実績

至近の組立点検記録より、ドライブピンに曲がり、傷等がなかったことを確認した。また、リークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。

(ロ) 分解点検

分解点検の結果、ドライブピンに軽微な当たり跡はあるが、異常な摺動傷および曲がり等がないことを確認した。

ロ. インサート部のOリング摩擦大

(イ) 組立点検実績

至近の組立点検記録より、組立時に異物がなかったことを確認した。また、リークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。

(ロ) 分解点検

分解点検の結果、Oリングにむしれおよびねじれ等はなく、線径および硬度の計測結果も計画値どおりであったが、シールリング動作確認において、シールリングが固着して動かない状態であったことから、Oリングの噛み込み等により摩擦が大きくなっていた可能性がある。

(添付資料-10)

(b) スプリング反力不足

イ. 組立点検実績

至近の組立点検記録より、スプリングに異物の残留、付着等がなかったことを確認した。また、リークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。

ロ. 分解点検

分解点検の結果、スプリングの自由長および着座状態等に異常がないことを確認した。

8. 2 シール面以外からのリーク

(1) Oリング部からの漏えい

a. 分解点検

分解点検の結果、シールリング内面、シールハウジングOリング溝等にリーク跡がないことを確認した。

8. 3 まとめ

上記調査結果から、第3シールのシール性を損なわせた原因は、以下の要因によりシール面の面開きが生じ、シール面からのリークが発生したものと考えられる。

- ・インサート部のOリング摩擦大によるシールリングの傾き

・インサート部のOリング摩擦大によるシールリングの追従不良  
ここで、当該Oリングは、分解点検において、線径・硬度とも異常がないものであったことから、当該Oリング自体の不良ではないと考えられる。  
(添付資料－10)

また、当該ポンプの軸シールは、今回の定期検査にて改良型シールに取替えているが、当該Oリングは従来型と同仕様であり、CVLRT前のポンプ運転時に異常は認められていないことから、改良型シールへの取り替えが原因ではないと考えられる。

一方、第3シールリークオフ流量については、CVLRT前のポンプ運転時は正常であり、CVLRT後のポンプ起動時に異常が認められたことから、CVLRTにより、インサート部のOリングの摩擦が大きくなり、第3シールのシール性が変化した可能性が考えられる。

なお、今回のCVLRTにおいては、1次冷却材ポンプの第3シールに外部から圧力がかかり得る状態であった。

(添付資料－7、8)

以上から、インサート部のOリングの摩擦が大きくなった原因は、Oリング自体の不良ではなく、CVLRTにおいて第3シールに外部から高い圧力がかかったことにより、Oリングによる摩擦が大きくなったためと考えられる。

なお、これまでのCVLRTにおいて、当該シール部への不具合は認められていない。

## 9. CVLRT時の第3シールの挙動に関する検討

8. の調査結果を踏まえ、CVLRT時の高い圧力により、インサート部のOリングの摩擦が大きくなるメカニズムについて検討した。

### (1) CVLRT時の外部からの圧力発生メカニズム

今回のCVLRTにおいて、第3シールの上流部分(添付資料－7の青色部分)は、第2シール、第3シール、弁3V-CS-255(ページ水ライン)および弁3V-CS-263B, 264B(第2シールリークオフライン)にて閉止されており、微正圧(約100kPa)状態となっている。

一方、第3シールの下流部分(添付資料－7の赤色部分)は、CV内雰囲気とつながっており、今回のCVLRTでは最大318kPaとなる。なお、通常時のCV内雰囲気は約0kPaであり、当該部に大きな圧力はかかっていない。

よって、第3シールには外部から高い圧力がかかる。

(添付資料－7)

### (2) 外部からの圧力発生時の第3シールの応力状態

第3シールに外部から高い圧力がかかった場合、Oリング部には、通常状態とは逆向きのOリングを押し下げる方向に力がかかる。

一方、機械的に固定されていないカーボンリングとリテーナーとの境界には、リテーナーを押し上げる方向に力がかかる。

ここで、カーボンリングにはシールランナーを押し付ける力がかかるため、第3シールのシール性は保たれている状態となる。



次に、今回行ったCVLRT時のCV内圧力（318kPa）で、Oリング、リテーナーおよびカーボンリングの応力状態から以下の挙動となる可能性が高いことを確認した。

- ・Oリング：下方へ移動
- ・リテーナー：上方へ移動
- ・カーボンリング：シールランナーに着座

（添付資料－11）

(3) インサート部のOリング摩擦大によるシールリングの追従不良（シールリングの傾き）推定メカニズム

（添付資料－11）

当該Oリングの摩擦大によりシールリングの追従不良（シールリングの傾き）が発生したメカニズムについて、以下の時系列ごとに整理する。

- ① 1次冷却材ポンプ正常運転時
- ② CVLRTによる外部からの高い圧力発生時
  - ・Oリングの摩擦力大
- ③ CVLRT降圧時
- ④ オイルリフトポンプ起動時
- ⑤ 1次冷却材ポンプ起動時（事象発生時）
  - ・シールリングの追従不良
  - ・シールリングの傾き

a. 1次冷却材ポンプ正常運転時

1次冷却材ポンプ正常運転時には、シールリング（カーボンリング・リテーナー・ホルダー）は、パージ水ライン圧力による荷重、スプリングによる荷重、Oリングの摩擦力および自重を受け、シールランナーに着座し、シール性を確保している。

b. CVLRTによる外部からの高い圧力発生時

CVLRTによる外部からの高い圧力発生時には、(2)に示したように、カーボンリングはシールランナーに着座した状態となる。また、リテーナーは上に押し上げられ、Oリングは、下に押し下げられる。

このとき、今回のCVLRT時にOリングにかかる圧力（318kPa）は、Oリングの静止摩擦力をわずかに超える程度であったため、Oリング全周が均一に押し下げられるのではなく、不均一に押し下げられたものと推定される。

この場合、押し下げられた部分のOリングは、CVLRT時のCV内圧力（318kPa）がリテーナーを水平方向に押すことでシールリングが動くこととなり、それに伴い、押し下げられた部分のOリングの変形もさらに大きくなる。

c. CVLRT降圧時

CVLRT降圧時には、CV内圧力（318kPa）が徐々に低下することにより、外部からの高い圧力によって移動していたシールリングがb.の逆方向に移動する。

この移動により、CVLRTによる外部からの高い圧力発生時に押し下げら

れた部分のOリングは、Oリング溝の外で大きい変形を受け、通常より大きな摩擦力を生じる。

一方、カーボンリングはスプリング荷重、パージ水ライン圧力による荷重および自重により、下向きの力を受け、シールランナーに押しえつけられており、シール性は保たれる。

d. オイルリフトポンプ起動時

オイルリフトポンプ起動時には、c. の状態のまま、シールランナーが約0.05mm上昇する。

e. 1次冷却材ポンプ起動時（事象発生時）

1次冷却材ポンプ起動時には、シールランナーが約0.1mm下がるが、c. で記載しているように、CVLRTによる外部からの高い圧力発生時に押し下げられた部分のOリングには、通常より大きな摩擦力が生じるため、シールリングはシールランナーの動きに追従できずシール面が開き、シール機能が喪失したと考えられる。

この時、外部からの高い圧力により押し下げられていない部分のOリングは、通常の状態であり、シールリングはシールランナーの動きに追従できるが、他方（外部からの高い圧力発生時に押し下げられた部分のOリング）が追従できていないため、シールリングが若干傾いた状態となり、固着したものと考える。

なお、調整作業で実施したオイルリフトポンプの起動時には、固着しているシールリングまでシールランナーが上昇し、シール性が一時的に回復したものと推定される（d. の状態）。

## 10. 推定原因

今回の事象は、CVLRTにおいて、1次冷却材ポンプの第3シールに外部からこれまでよりも高い圧力がかかったことを起点とし、部分的にインサート部のOリングの摩擦力が大きくなったことでシールリングの追従不良が生じ、シール機能が喪失したものと推定される。

シールリングの傾きは、部分的なOリングの摩擦力の増加により、シールリングの追従性に偏りが生じ、結果として傾いた状態で固着したものと推定される。

## 11. 1次冷却材ポンプ3Cの調査結果

1次冷却材ポンプ3Cについては、CVLRT前後の連続運転において特に異常は認められていないものの、CVLRT後のパージ水通水時に、第3シールリークオフ流量が増加する事象が発生したことから、第3シールの分解点検を実施した。

分解点検の結果、シール面やOリング等に異常はなく、1次冷却材ポンプ3Bと異なり、シールリング動作確認の際、シールリングの押し下げに対して固着は見られなかったものの、カートリッジスリーブの下降に対しては引っ掛かりが見られた。このため、Oリングとシールリングは固着しないまでも多少摩擦力が大きい状態であったものと推定される。

以上のことから、1次冷却材ポンプ3Cの第3シールは、B号機と同様、CV

LRT時の第3シールに対する外部からの高い圧力により、部分的にインサート部のOリングの摩擦力が大きくなっていたが、調整作業により緩和されたと考えられ、カートリッジスリーブ下降時の大きな動きには追従していなかったものの、ポンプ運転時の微小な動きには追従していたものと考えられる。

## 12. 対策

(1) 1次冷却材ポンプ3Bについては、一体型の組立品となっている第2シールと第3シールを取り替え、シール性を回復させた。

また、1次冷却材ポンプ3Cについては、分解点検の結果、3Bと同じ傾向がみられたことから、3B同様に第2シール、第3シールを取り替えた。

なお、3Aについても万全を期すため、3B、3Cと合わせて第2シールと第3シールを取り替えた。

1次冷却材ポンプ3A～3Cのシールの取替完了後、1次冷却材ポンプを運転し、8月1日に第3シールリークオフ流量に問題がないこと、また第1、第2シールやポンプ全体の振動等のパラメータについても異常がなく、ポンプ各部に異音もないことから、運転状態が良好であることを確認した。

(2) CVLRT実施時には、1次冷却材ポンプ第3シールに外部から高い圧力がかからないように、昇圧開始前の系統構成において、弁3V-C S-263A、B、C（第2シールリークオフベント弁）を「開」とするよう要領書を改定した。

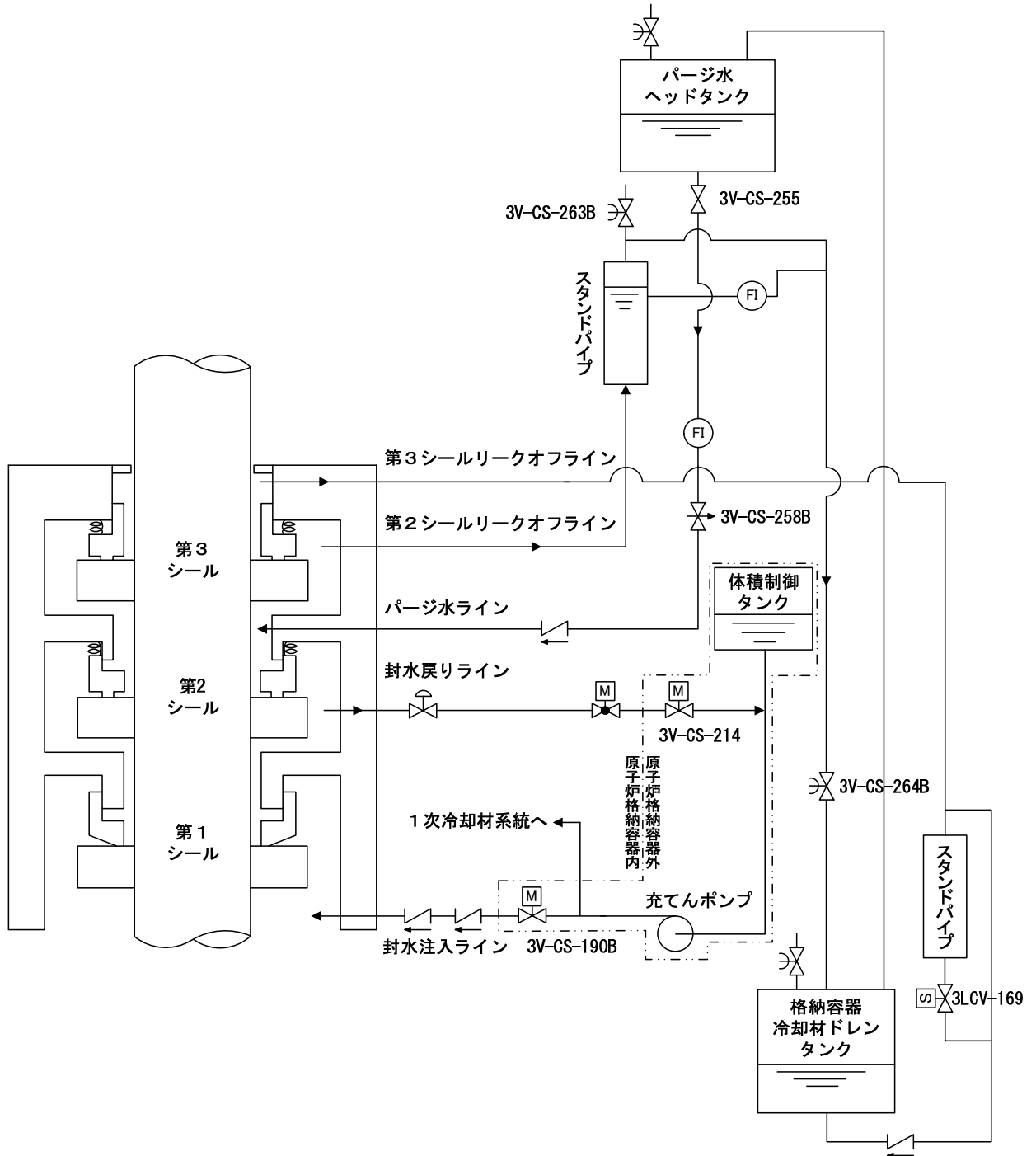
(添付資料-12)

以 上

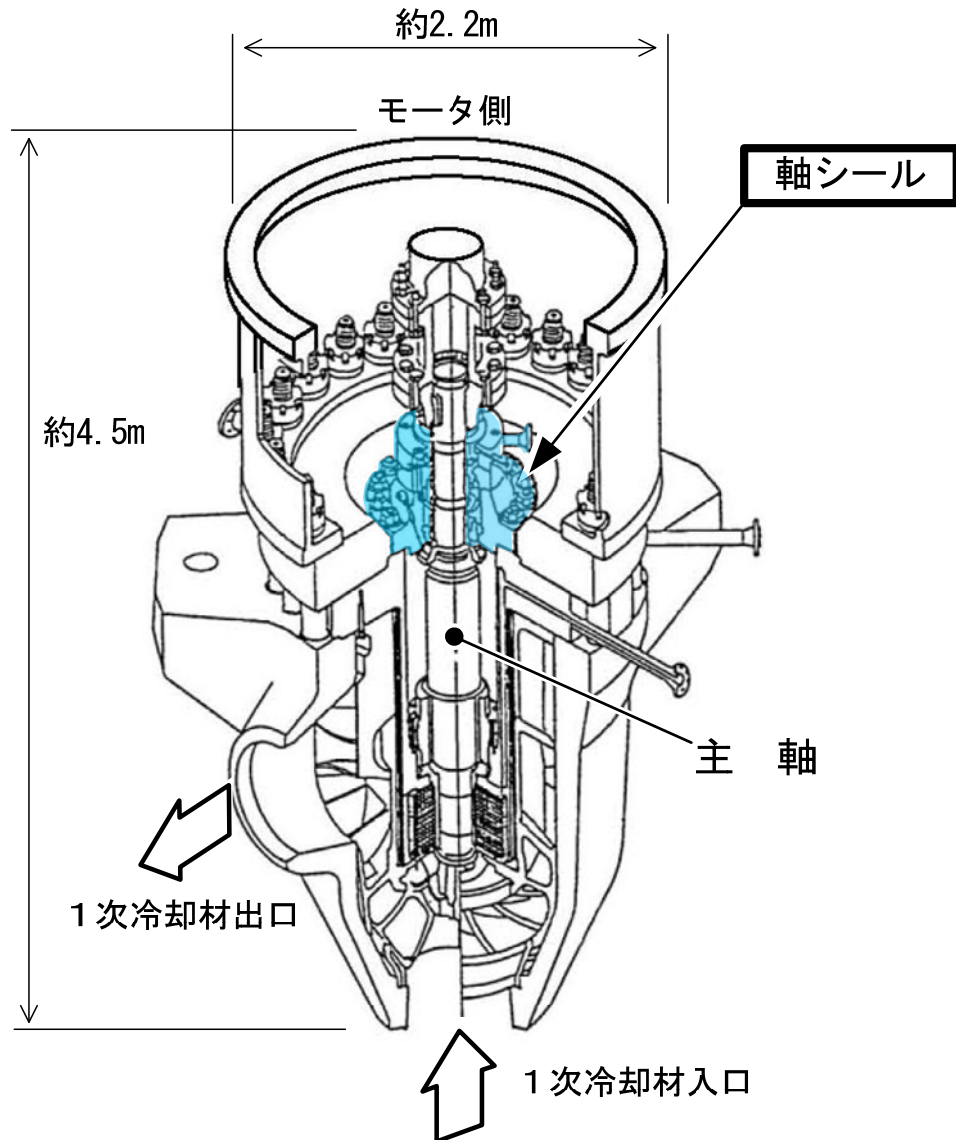
## 添 付 資 料

- 添付資料－ 1 1次冷却材ポンプ軸シール水系統図
- 添付資料－ 2 1次冷却材ポンプ構造図
- 添付資料－ 3 1次冷却材ポンプ軸シール構造図
- 添付資料－ 4 1次冷却材ポンプ3B軸シール水系統に係る運転パラメータ
- 添付資料－ 5 事象発生時のパーシ水の流れ
- 添付資料－ 6 1次冷却材ポンプ3B前回組立点検時の第3シール点検結果
- 添付資料－ 7 CVLRT時の第3シール圧力状態概略図
- 添付資料－ 8 CVLRT実績について
- 添付資料－ 9 1次冷却材ポンプ3Bの第3シールのリークオフ流量増加に関する要因分析図
- 添付資料－ 10 分解点検結果
- 添付資料－ 11 推定メカニズム
- 添付資料－ 12 CVLRT時の第3シール圧力状態概略図（対策後）

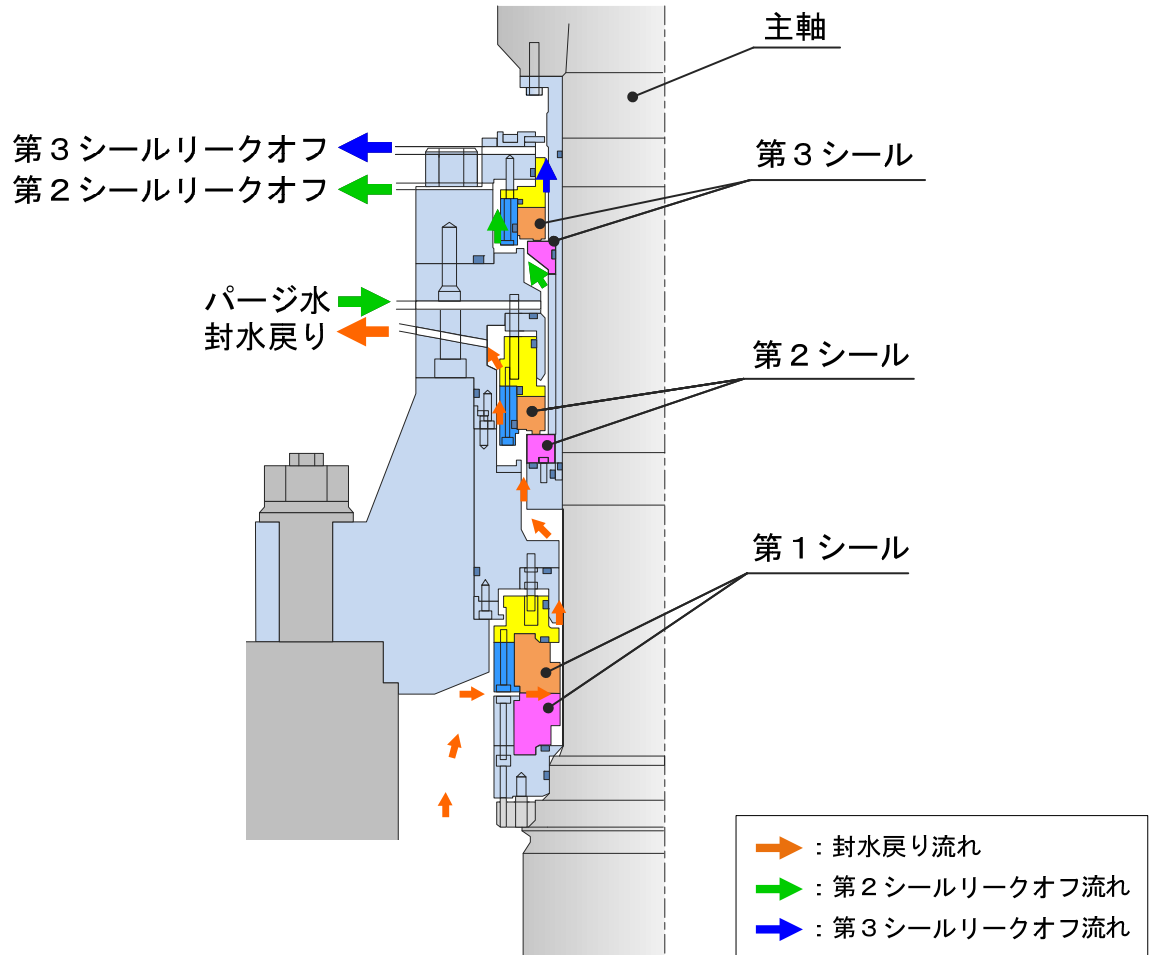
1次冷却材ポンプ軸シール水系統図



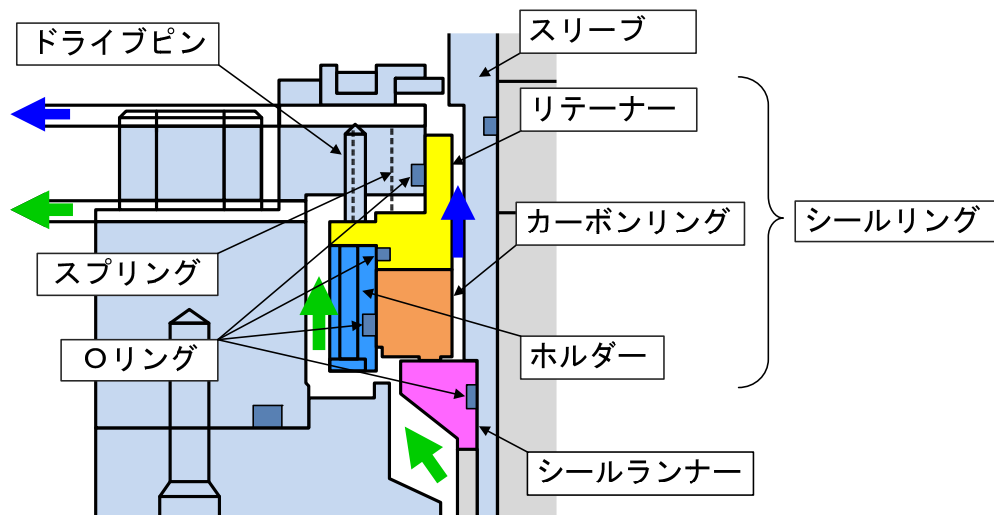
### 1次冷却材ポンプ構造図



1次冷却材ポンプ軸シール構造図

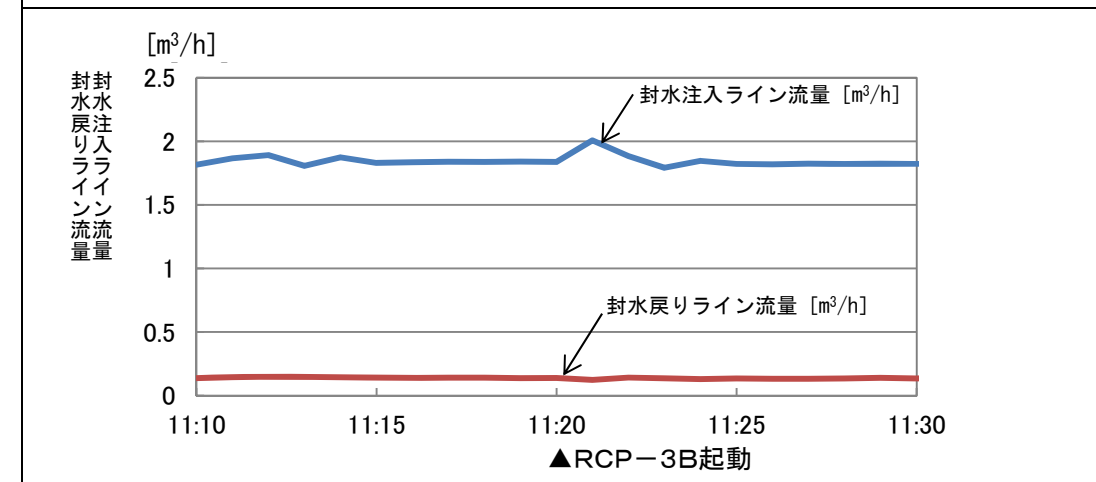
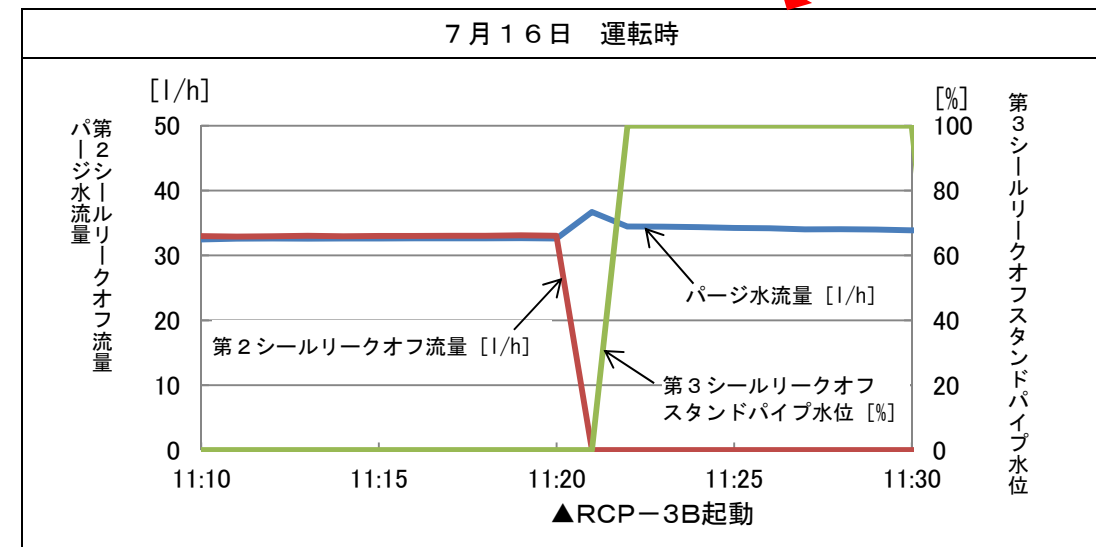
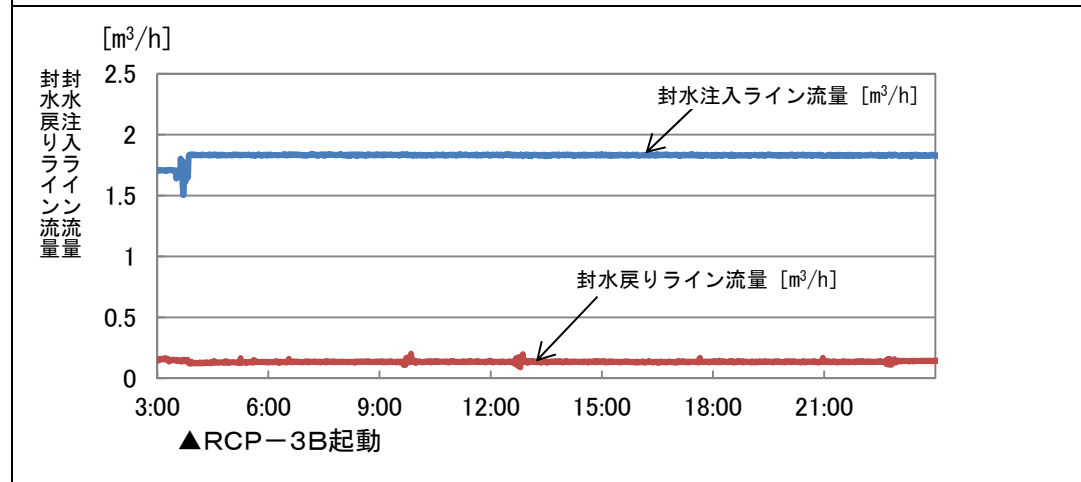
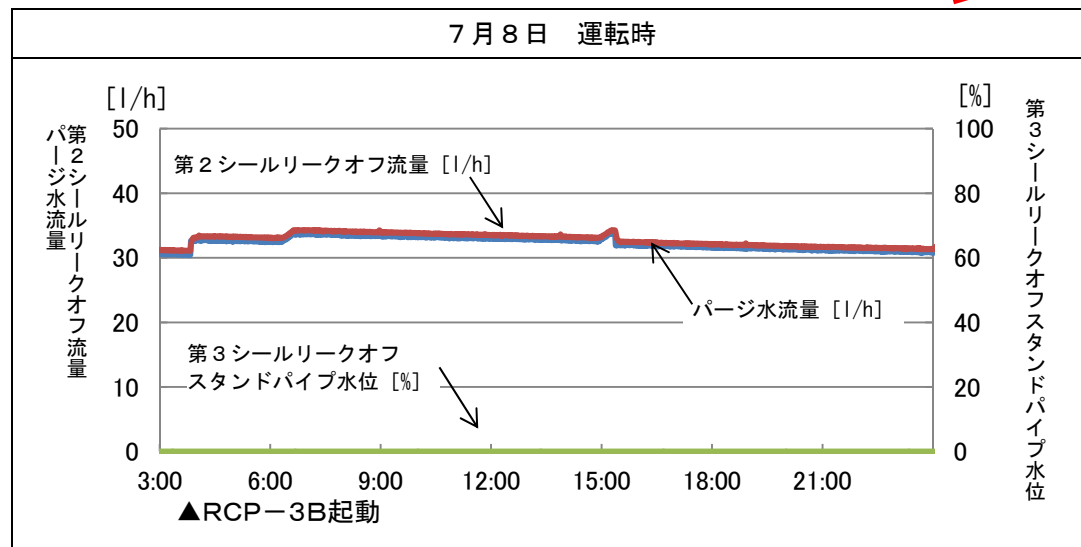


第3シール拡大図



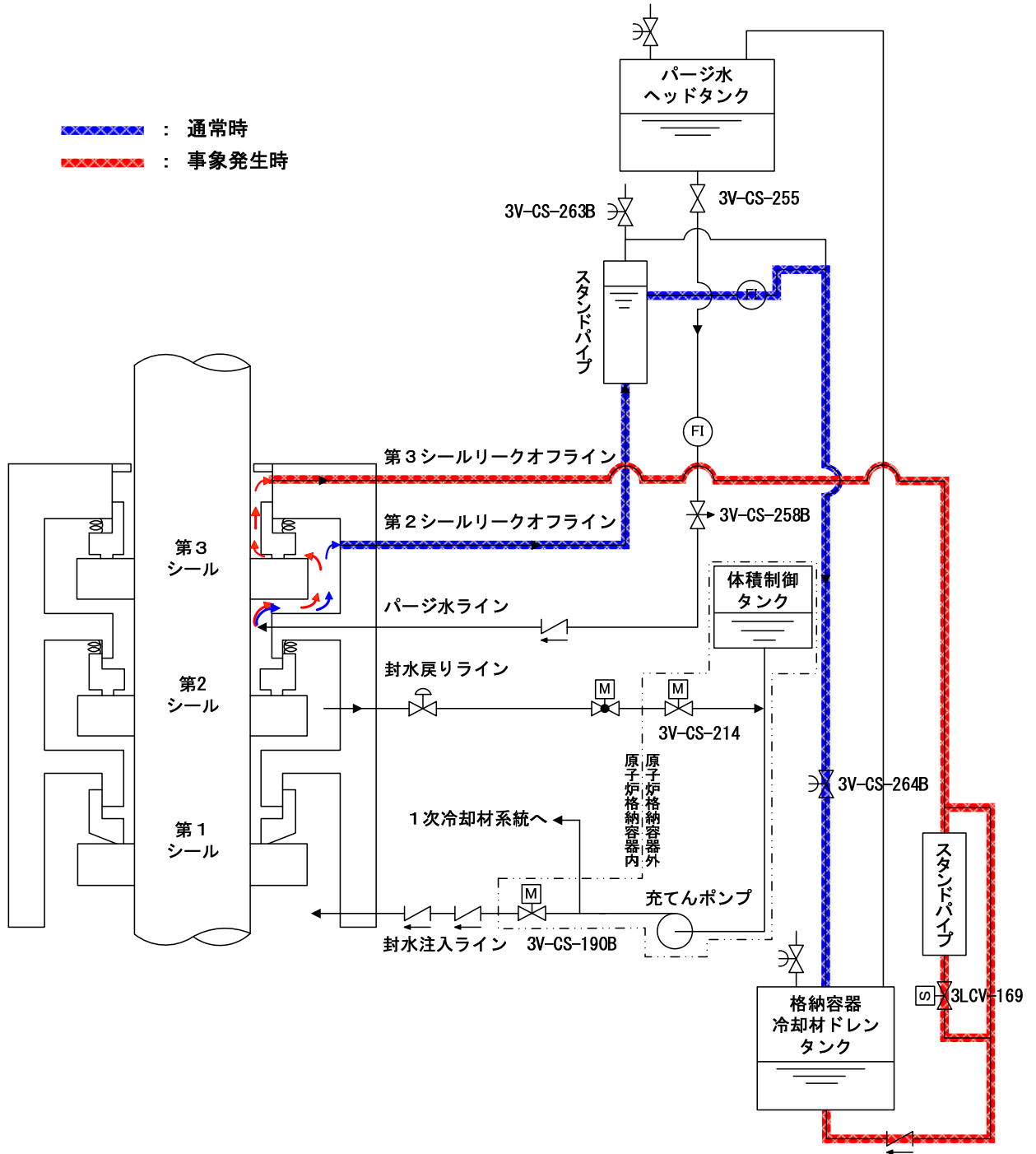
1次冷却材ポンプ3B軸シール水系統に係る運転パラメータ

	7/6	7/7	7/8	7/9	7/15	7/16
主要工程			CV圧力 315kPa(最大318kPa) CVLRT			
1次冷却材ポンプ3B 運転履歴	1次冷却材圧力2.7MPa		20:00 起動30秒後停止 23:20 全速30秒後停止	3:50 連続運転 2:00	1次冷却材圧力 2.7MPa	
						11:20 起動27秒後停止





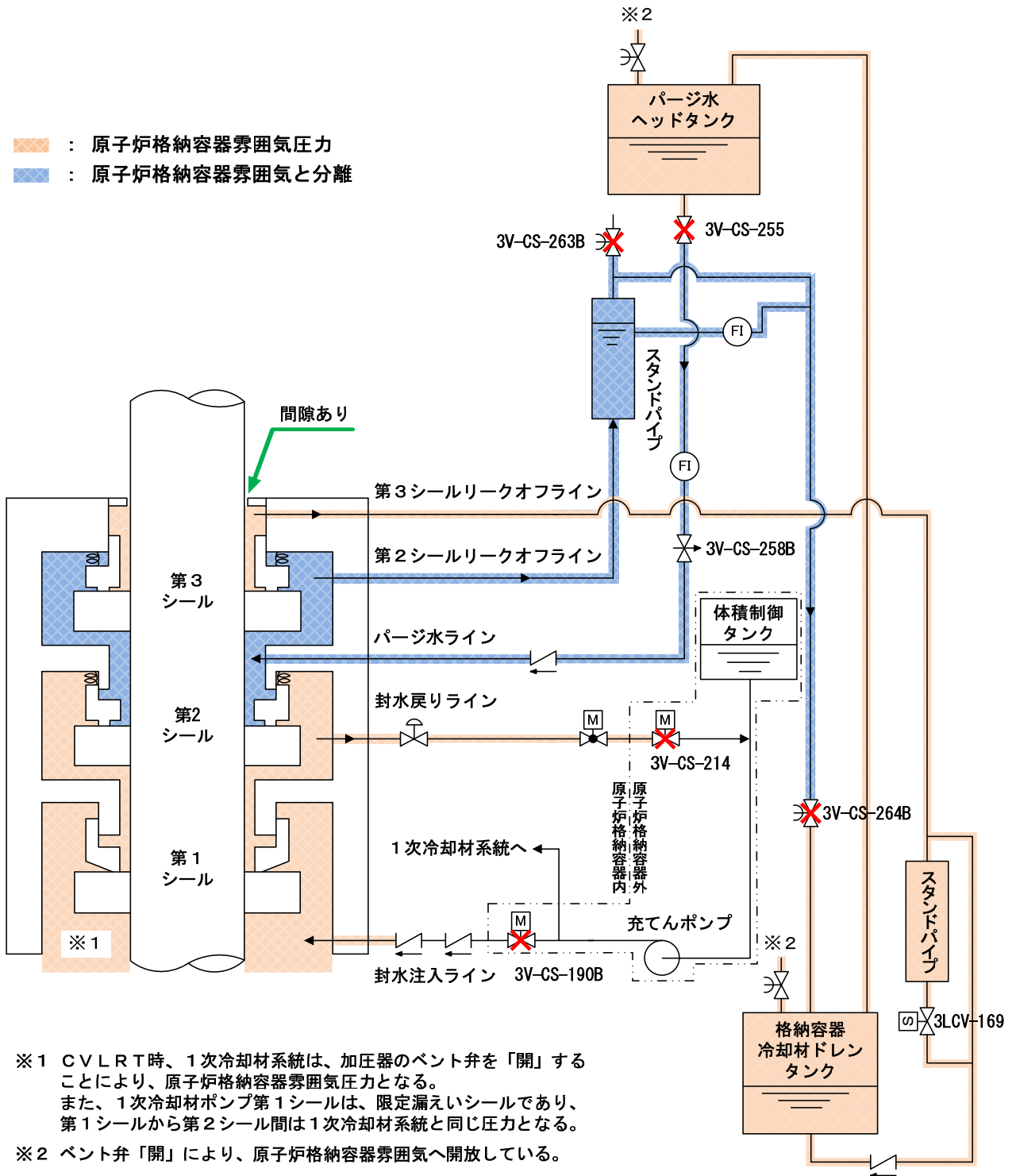
事象発生時のパージ水の流れ



## 1 次冷却材ポンプ3 B前回組立点検時の第3シール点検結果

名称	点検項目	主な点検内容	点検結果	備考
シールランナー	外観・目視点検	シール面の異常の有無 異物の付着の有無	良	—
	寸法計測	シール面の段差計測		
シールリング	外観・目視点検	シール面の異常の有無 異物の付着の有無	良	—
	寸法計測	ノーズ高さ計測		
	動作確認	シールリング組込後の動作確認		
Oリング (インサート部)	外観・目視点検	有意な欠陥、異物の付着等の有無	良	—
	外観・目視点検	有意な欠陥、異物の付着等の有無		
ドライブピン	外観・目視点検	曲がり、接触痕の有無	良	—
シール一式	リークテスト	カートリッジシールリークテスト	良	—

C V L R T時の第3シール圧力状態概略図



## CVLRT実績について

	試験圧力※	1次冷却材ポンプ軸シール部の 圧力状態	備考
建設時	3.3 [kgf/cm <sup>2</sup> G] (324 [kPaG])	第3シールに外部から圧力がかからない (3V-CS-255 : 閉、3V-CS-263B : 閉、3V-CS-264B : 閉)	使用前検査実施
第1回定期検査	1.7 [kgf/cm <sup>2</sup> G] (167 [kPaG])	第3シールに外部から圧力がかかる (3V-CS-258B : 閉、3V-CS-263B : 閉、3V-CS-264B : 閉)	
第3回定期検査	1.7 [kgf/cm <sup>2</sup> G] (167 [kPaG])	第3シールに外部から圧力がかかる (3V-CS-258B : 閉、3V-CS-263B : 閉、3V-CS-264B : 閉)	
第6回定期検査	170 [kPaG]	第3シールに外部から圧力がかかる (3V-CS-258B : 閉、3V-CS-263B : 閉、3V-CS-264B : 閉)	
第9回定期検査	170 [kPaG]	第3シールに外部から圧力がかかる (3V-CS-255 : 閉、3V-CS-263B : 閉、3V-CS-264B : 閉)	
第12回定期検査	283 [kPaG]	第3シールに外部から圧力がかかる (3V-CS-255 : 閉、3V-CS-263B : 閉、3V-CS-264B : 閉)	
第13回定期検査 (今回)	318 [kPaG]	第3シールに外部から圧力がかかる (3V-CS-255 : 閉、3V-CS-263B : 閉、3V-CS-264B : 閉)	溶接事業者検査実施

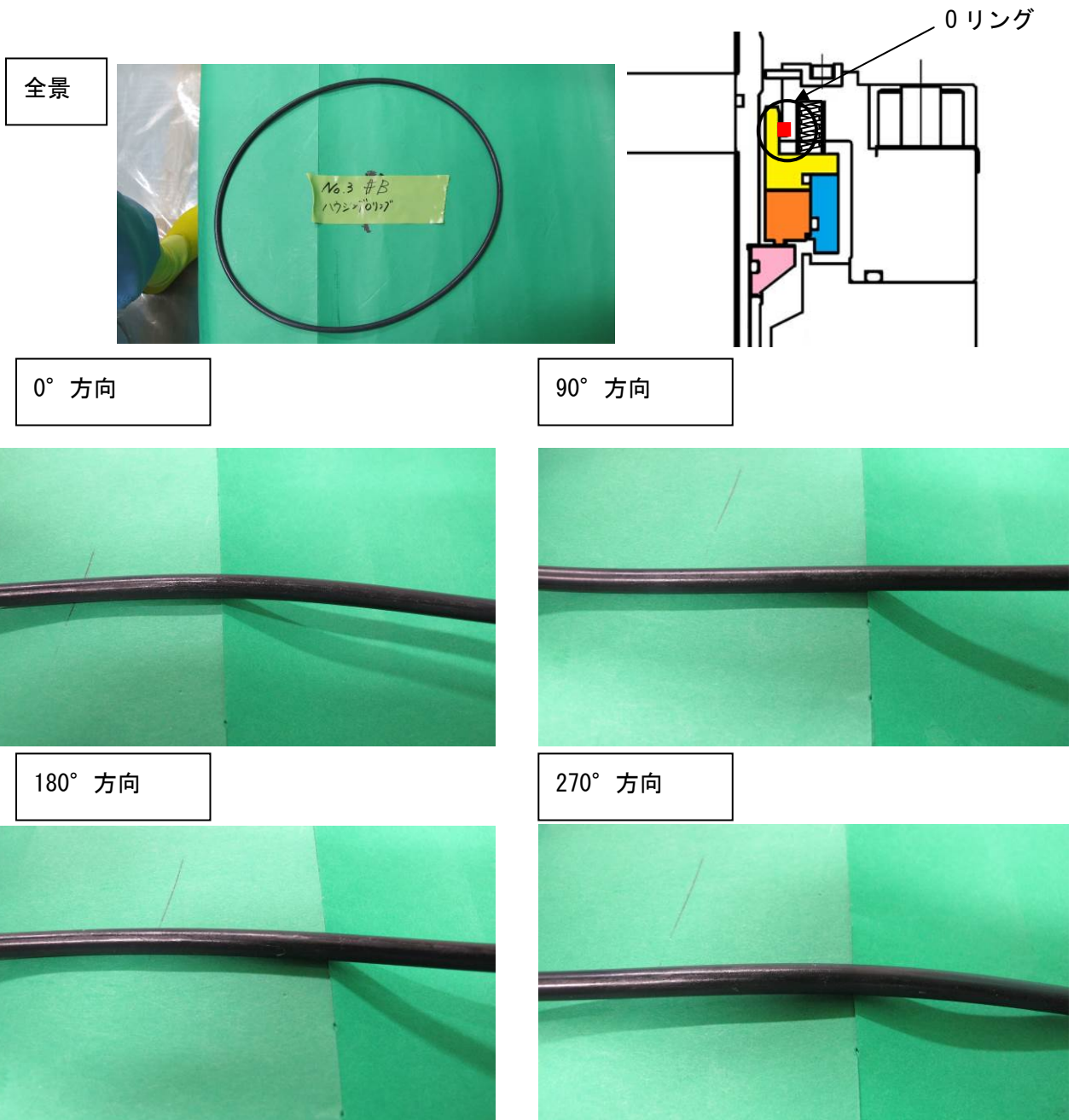
※：最大値を示す。

### 1次冷却材ポンプ3Bの第3シールのリークオフ流量増加に関する要因分析図

△：可能性あり  
×：可能性なし

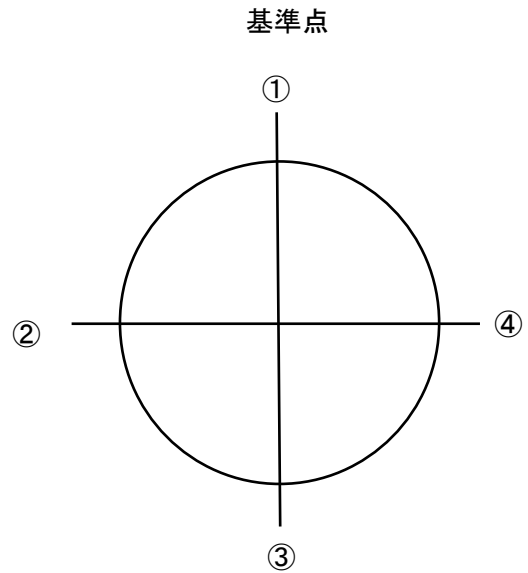
事象	要因		確認内容	確認結果	評価		
1次冷却材ポンプ3Bの第3シールのリークオフ流量増加	シール面からのリーク	シール面不良	シール面のなじみ不足	・ 運転履歴	1次冷却材水質調整時のリーク量は許容値内であったことを確認した。	×	
			シール面の面荒れ	・ 組立点検記録 ・ 分解点検結果	組立点検記録より、シール面に面荒れ等の異常がなく、カートリッジシールリークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。分解点検の結果、シール面に面荒れ等の異常がないことを確認した。また、シール面の摩耗量が許容値内であることを確認した。	×	
			シール面のゆがみ	・ 組立点検記録 ・ 分解点検結果	組立点検記録より、シール面にゆがみ等の異常がなく、カートリッジシールリークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。分解点検の結果、シール面にゆがみ等の異常がないことを確認した。	×	
		面開き	シールランナーの傾き	組立不良	・ 組立点検記録	組立点検記録より、組立後のカートリッジシールリークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。	×
				シールランナーとスリーブ間の異物噛み込み	・ 組立点検記録 ・ 分解点検結果	組立点検記録より、異物なく組み立てられ、カートリッジシールリークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。分解点検の結果、シールランナーとスリーブ間に異物等の噛み込み痕がないことを確認した。	×
			シールリングの傾き	組立不良	・ 組立点検記録	組立点検記録より、組立後のカートリッジシールリークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。	×
	スプリング反力の不均一			・ 組立点検記録 ・ 分解点検結果	組立点検記録より、スプリングに異物の残留、付着等がなく組み立てられ、カートリッジシールリークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。分解点検の結果、スプリングの自由長、着座状態等に異常がないことを確認した。	×	
	インサート部のOリング摩擦大			・ 組立点検記録 ・ 分解点検結果	組立点検記録より、異物なく組み立てられ、カートリッジシールリークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。分解点検の結果、Oリングのむしれ、ねじれ等がなく、線径および硬度の計測結果は計画値どおりであることを確認した。分解点検の結果、シールリングの傾きおよび動作不良が確認された。	△	
	シール面の異物噛み込み			・ 組立点検記録 ・ 分解点検結果	組立点検記録より、異物なく組み立てられ、カートリッジシールリークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。分解点検の結果、シール面に異物付着等の異常がないことを確認した。	×	
	シールリングの追従不良		シールリング拘束力大	ドライブピン接触による拘束力大	・ 組立点検記録 ・ 分解点検結果	組立点検記録より、ドライブピンに曲がり、傷等がなく、カートリッジシールリークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。分解点検の結果、ドライブピンに軽微な当たり跡はあるが、異常な摺動傷、曲がり等がないことを確認した。	×
		インサート部のOリング摩擦大		・ 組立点検記録 ・ 分解点検結果	組立点検記録より、異物なく組み立てられ、カートリッジシールリークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。分解点検の結果、Oリングのむしれ、ねじれ等がなく、線径および硬度の計測結果は計画値どおりであることを確認した。分解点検の結果、シールリングの傾きおよび動作不良が確認された。	△	
			スプリング反力不足	・ 組立点検記録 ・ 分解点検結果	組立点検記録より、スプリングに異物の残留、付着等がなく組み立てられ、カートリッジシールリークテスト時のリーク量が許容値内であったことを確認した。分解点検の結果、スプリングの自由長、着座状態等に異常がないことを確認した。	×	
	シール面以外からのリーク	Oリング部からの漏えい		・ 分解点検結果	分解点検の結果、シールリング内面、シールハウジングOリング溝等にリーク跡がないことを確認した。	×	

分解点検結果  
(インサート部のOリング外観目視点検)



・外観・目視結果より、インサート部Oリングにむしれ、ねじれ、異物付着等の異常は見られなかった。

分解点検結果  
（インサート部のOリング硬度、線径計測結果）



Oリング硬度計測結果

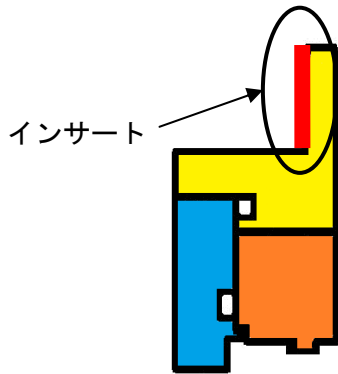
判定基準	①	②	③	④
計画値どおりであること	良	良	良	良

Oリング線径計測結果

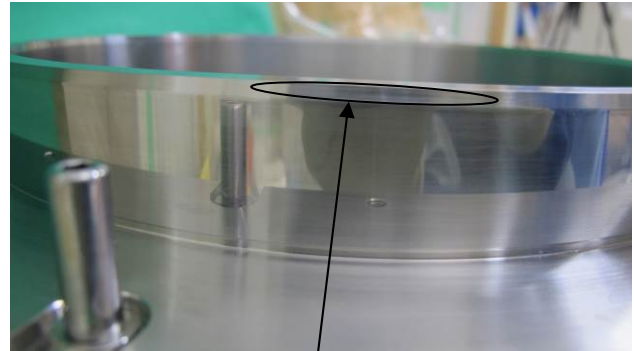
判定基準		①	②	③	④
計画値どおりであること	X(径方向)	良	良	良	良
	Y(軸方向)	良	良	良	良

・インサート部Oリングの硬度および線径は、計画値どおりであることが確認された。

分解点検結果  
(インサート部外観目視点検)

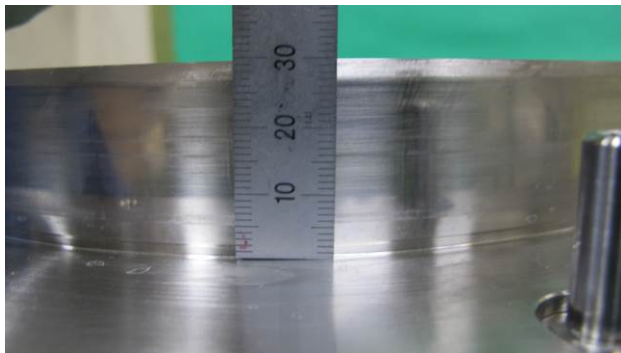


インサート先端の当たり跡

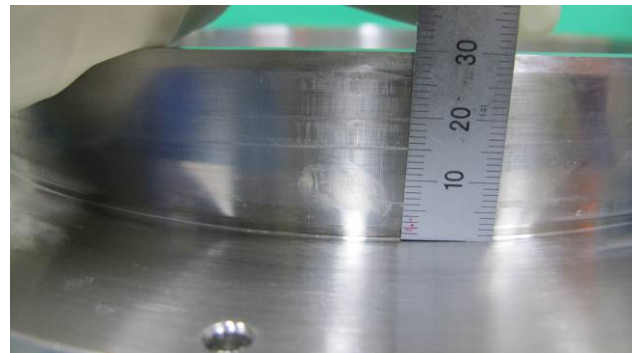


当たり跡

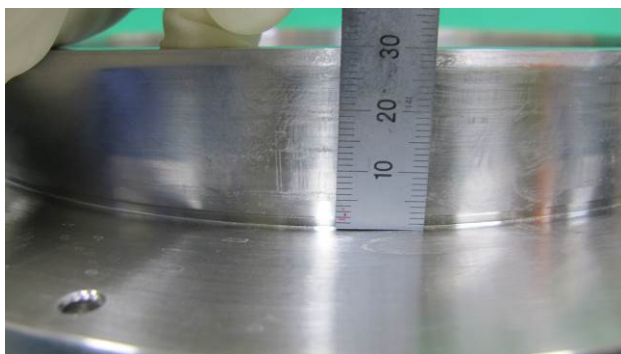
0° 方向



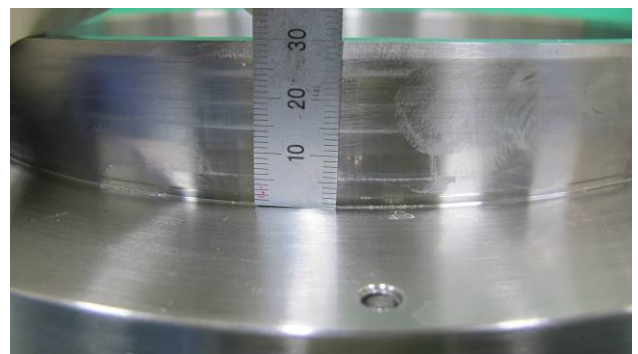
90° 方向



180° 方向



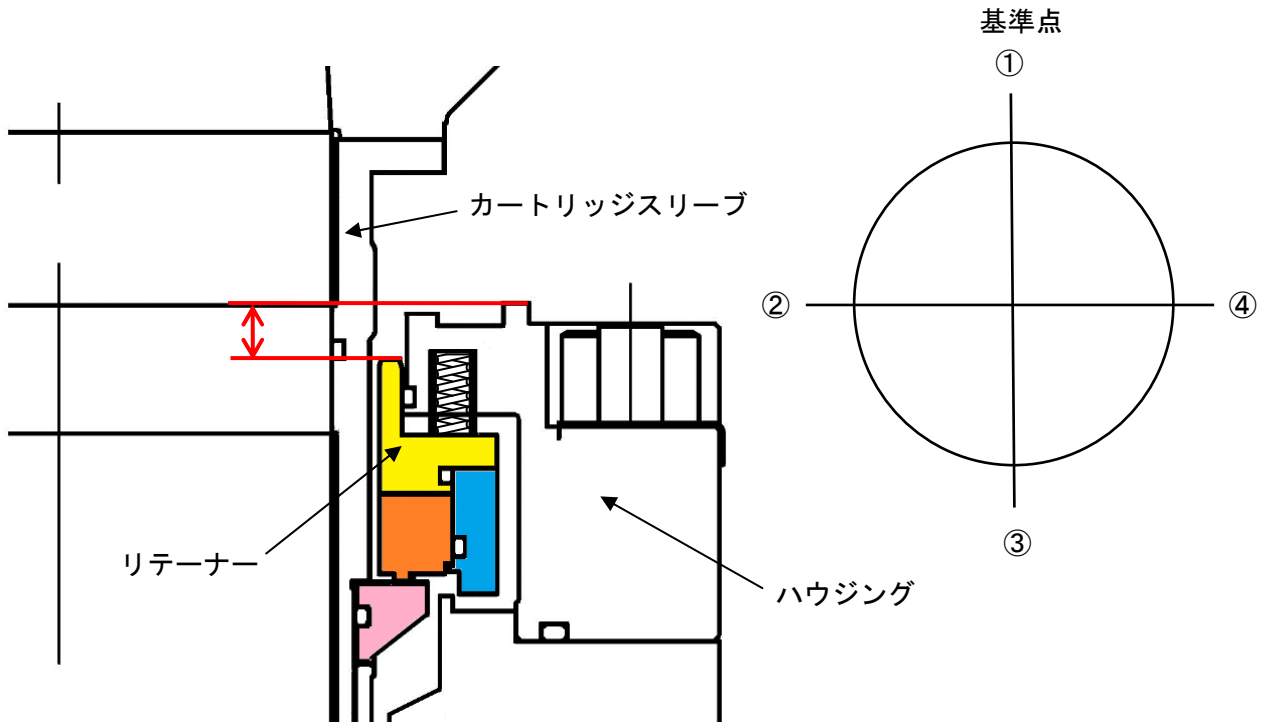
270° 方向



- ・ 外観・目視結果より、インサート先端に組込時に生じたと推定される当たり跡が確認されたが、通常のOリング位置から離れていることから、リークに影響するとは考え難いと判断された。
- ・ インサート部に異物による圧痕、傷等の異常は見られなかった。



分解点検結果  
(シールリング動作確認) (1/2)



カートリッジスリーブ下降途中の移動量：

- 1回目 4mm(カートリッジスリーブ 4mm 下げ)
- 2回目 8mm(カートリッジスリーブ 8mm 下げ)

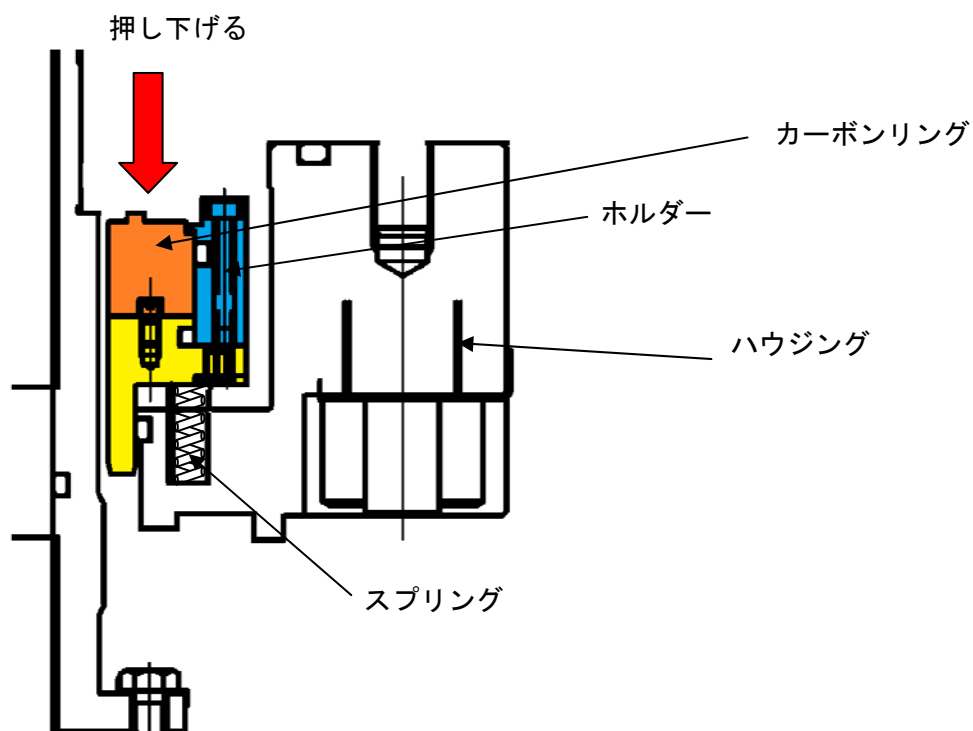
単位：mm

		①	②	③	④
カートリッジスリーブ 切り離し前寸法 (A)		21.5	21.5	21.5	21.5
カートリッジスリーブ 下降途中の寸法 (B)	1回目	21.5	21.5	21.5	21.5
	2回目	21.5	21.5	21.5	21.5
シールリング降下量 (B-A)		0	0	0	0

(最小目盛 0.5mm)

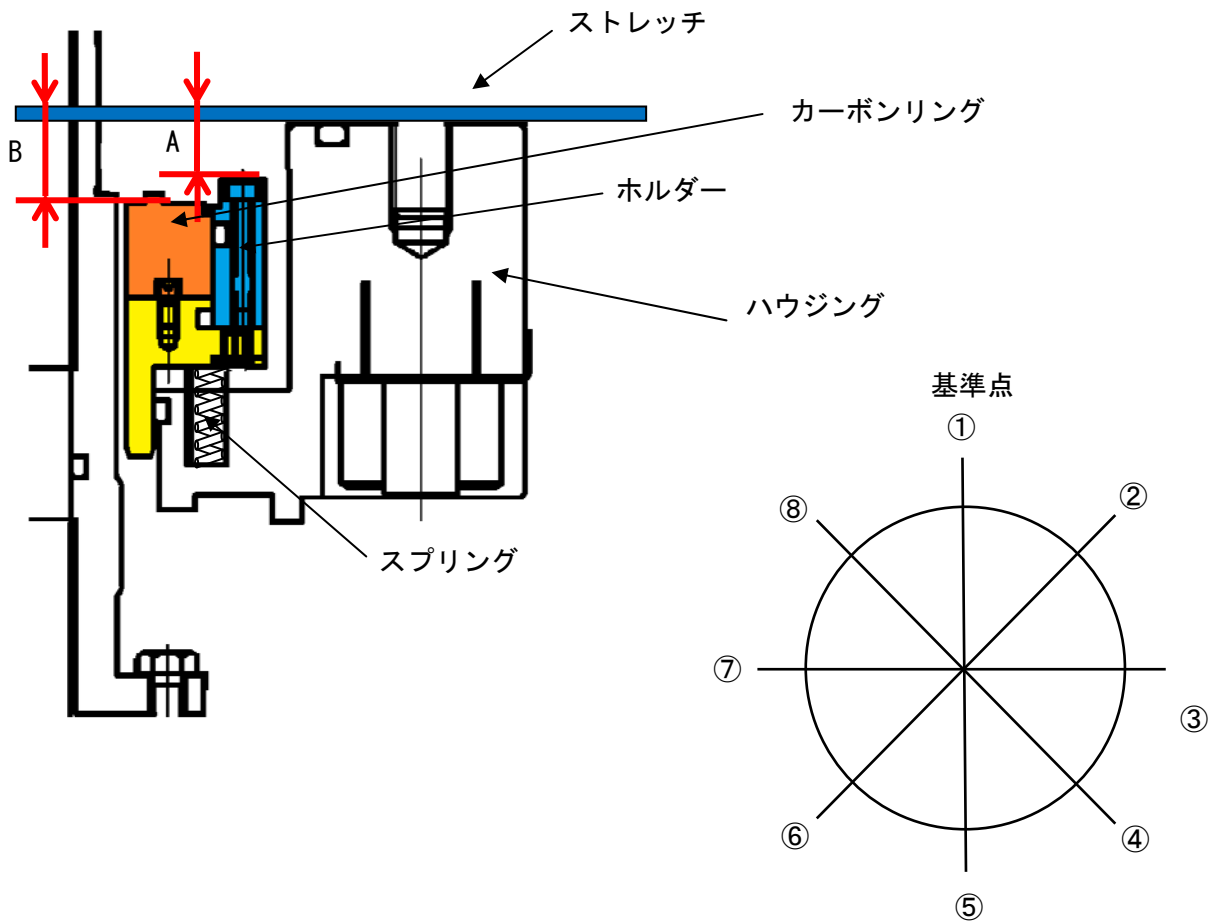
・シールリング動作確認を行った結果、シールリングがカートリッジスリーブの動きに追従していないことが確認できた。

分解点検結果  
（シールリング動作確認）（２／２）



- ・シールリングが固着して動かない状態であった。
- ・荷重を強めると、カタンという音とともに固着が解け、その後は軽い力でスムーズに押し下げられることとなった。

分解点検結果  
(シールリング傾き確認)



単位：mm

	寸法							
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ハウジング ~ ホルダー間の高さ (A)	56.97	56.85	56.71	56.68	56.71	56.77	56.92	56.94
ハウジング ~ カーボンリング間の高さ (B)	64.79	64.68	64.58	64.52	64.55	64.62	64.71	(64.82)※

※ケガキ線があるため参考値

・傾き確認の結果、シールリングがハウジングに対して、約0.3mm傾いていることが確認された。

推定メカニズム

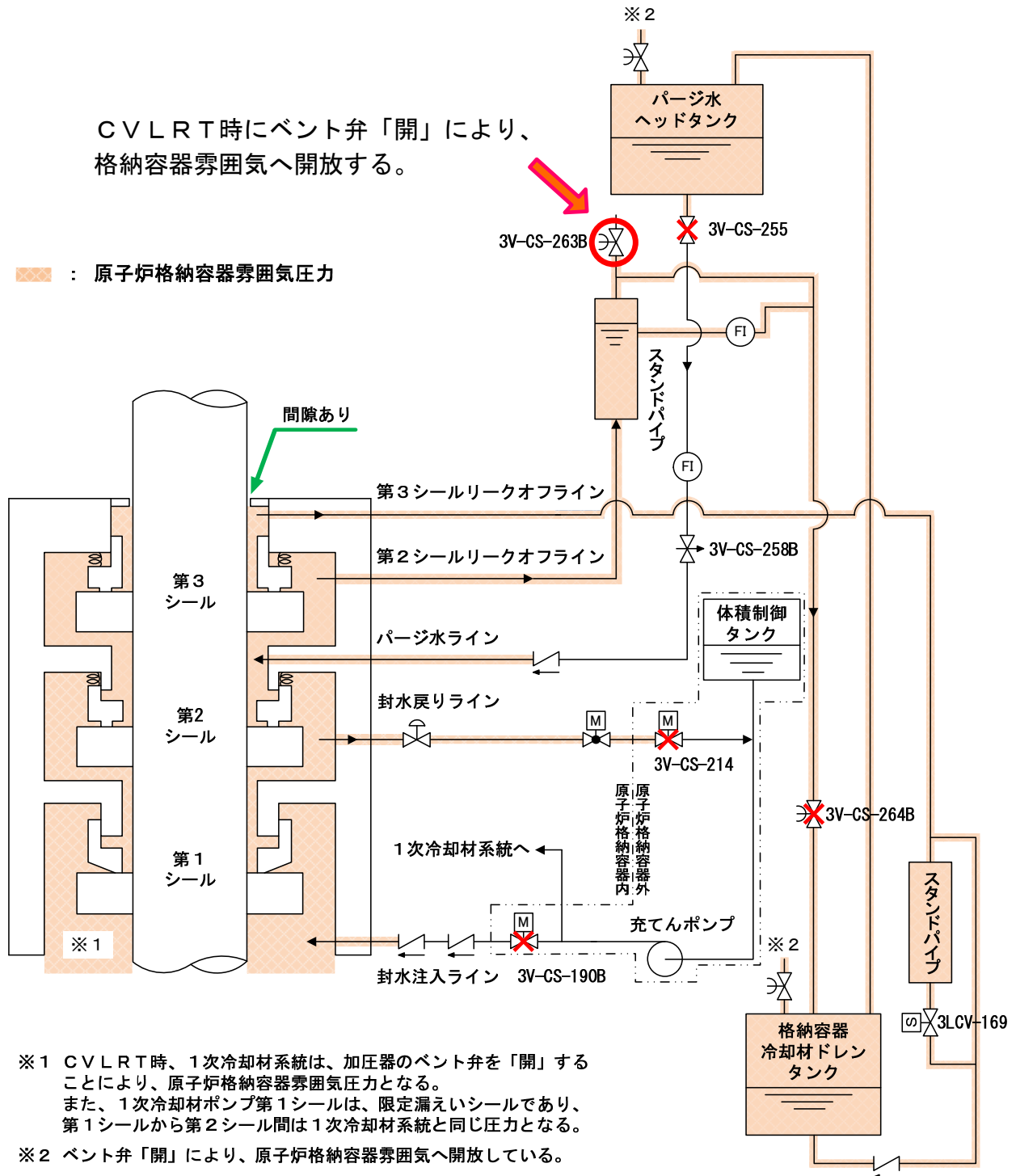
時系列	模式図	メカニズム説明
<p>(1) 1次冷却材ポンプ正常運転時</p>	<p style="text-align: center;">模式図</p>	<p>シールリング（カーボンリング・リテーナー・ホルダー）は、パージ水圧力による荷重・スプリング荷重・Oリング摩擦力及び自重を受け、シールリング全体ではシールランナーに着座し（下に押し付けられ）、シール性が確保される。</p>
<p>(2) CVLRTによる第3シールへの外部からの高い圧力発生時</p>	<p style="text-align: center;">CVLRT時のCV内及びシール廻りの圧力状態</p> <p>※1 CVLRT時、1次冷却材系統は、加圧器のベント弁を「開」することにより、原子炉格納容器雰囲気圧力となる。 また、1次冷却材ポンプ第1シールは、限定漏えいシールであり、第1シールから第2シール間は1次冷却材系統と同じ圧力となる。</p> <p>※2 ベント弁「開」により、原子炉格納容器雰囲気へ開放している。</p>	<p>CVLRTの実施にあたり、格納容器冷却材ドレンタンク内の廃液移送が不可能となる系統隔離状態になるため、同タンクへの流入防止対策として、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・3V-CS-255 の「閉」（パージ水ヘッドタンクからの流入防止）</li> <li>・3V-CS-264B (A, C) の「閉」</li> </ul> <p>を採用していた。</p> <p>このため、第2、第3シール間は原子炉格納容器雰囲気と分離された状態となった。</p> <p>この状態で、CVLRT時にCV内全体を加圧したため、シールリング（カーボンリング・リテーナー・ホルダー）にCV内圧力が作用し、第3シールへの外部からの高い圧力が発生した。</p>

時系列	模式図	メカニズム説明
<p>(3) 第3シールへの外部からの高い圧力時の第3シール挙動</p>	<p style="text-align: center;">模式図</p> <p>①-1: リテーナー・ホルダーに作用する荷重</p> <p>①-2: カーボンリングに作用する荷重</p> <p>②</p> <p>正常運転時      CVLRT時</p> <p>③</p> <p>左側      右側</p>	<p>メカニズム説明</p> <p>①-1: カーボンリングとリテーナーとの境界には、リテーナーを押し上げる方向に力が生じ、リテーナーは上に移動する。</p> <p>①-2: 一方、カーボンリングにはシールランナーに押し付ける方向に力が生じ、第3シールのシール性は保たれている状態となる。</p> <p>② Oリングには、通常状態(正常運転時)とは逆向きに、Oリング(インサート部)を押し下げる方向に力が生じる。</p> <p>③ Oリングが下がったことによりシールリングの受圧面積が広がり、シールリングは左側へ押され、移動する。また、シールリングの左側への移動によりOリングの受圧面積が広がり、Oリングに対する下方向への押し付け荷重がさらに増加し、Oリングは下側に押し込まれる。</p>

時系列	模式図	メカニズム説明
<p>(4) CVLRT降圧時 (第3シールへの外部からの圧力解除)</p>	<p style="text-align: center;">模式図</p>	<p>CVLRT降圧時には、第3シールへの外部からの圧力が解除されるため、左側へ移動していたシールリングはパージ水圧力により右側へ、リテーナー・ホルダーは下へ移動する。</p> <p>また、この移動によりOリングはOリング溝の外の狭隙部でさらに押し込まれて大きく変形し、摩擦力が増大する。</p> <p>一方、カーボンリングはスプリング荷重、パージ水圧力による荷重および自重により、下向きの力を受け、シールランナーに押さえつけられており、シール性は確保される。</p>
<p>(5) オイルリフトポンプ起動時</p>		<p>シール性が確保された状態で、オイルリフトポンプ起動により、主軸・シールランナーは上方に約0.05mm移動する。</p>

時系列	模式図	メカニズム説明
<p>(6) 1次冷却材ポンプ起動時 (事象発生時)</p>	<div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">1次冷却材ポンプ起動に伴う 主軸・シールランナーの移動量：約0.1mm</p> <p style="text-align: center;"> <small>リング摩擦力(小)</small>      <small>リング摩擦力(大)</small>      <small>スプリング荷重</small>  <small>自重</small>      <small>自重</small> </p> <p style="text-align: right;"> <small>リング(右側)には通常より大きな摩擦力が生じるため、シールランナーの移動にシールリングが追従できず、シール面は開方向となる。さらに、リングの摩擦力は左右で差があるため、シールリングは傾く。</small> </p>	<p>1次冷却材ポンプ起動により、主軸・シールランナーは下方に約 0.1mm 移動するが、第3シールへの外部からの高い圧力発生時に押し下げられたOリング(右側)は、通常より大きな摩擦力を生じるため、シールランナーの動きに追従できずシール面が開く。</p> <p>さらに、Oリングの摩擦力は左右で差を生じているため、シールリングは傾いた状態となり固着したと推定される。</p>

CVLRT時の第3シール圧力状態概略図（対策後）



- ※1 CVLRT時、1次冷却材系統は、加圧器のベント弁を「開」することにより、原子炉格納容器雰囲気圧力となる。また、1次冷却材ポンプ第1シールは、限定漏えいシールであり、第1シールから第2シール間は1次冷却材系統と同じ圧力となる。
- ※2 ベント弁「開」により、原子炉格納容器雰囲気へ開放している。

CVLRT時に第2シールリークオフラインのベント弁(3V-CS-263B)を「開」とすることにより、第2シールから第3シール間の圧力を原子炉格納容器雰囲気圧力とし、第3シールに外部から圧力がかからないようにする。  
本対策は、1次冷却材ポンプ3A、3Cに対しても同様に実施し、同ベント弁(3V-CS-263A,C)を「開」とする。





## 用語説明

1. 1次冷却材ポンプ(RCP)
2. パージ水
3. パージ水ヘッドタンク
4. スタンドパイプ
5. 封水
6. 原子炉格納容器(CV)
7. 格納容器冷却材ドレンタンク
8. 軸シール
9. ドライブピン
10. リテーナー
11. カーボンリング
12. シールリング
13. ホルダー
14. Oリング
15. シールランナー
16. 原子炉格納容器全体漏えい率検査(CVLRT)
17. オイルリフトポンプ
18. ハンドターニング
19. 寸動運転
20. 改良型シール
21. シール面
22. リーク
23. カートリッジシールリークテスト
24. シールリングの追従
25. インサート部
26. カートリッジスリーブ
- 27.ハウジング

1. 1次冷却材ポンプ(RCP)  
1次冷却水を、原子炉容器から蒸気発生器を経て再び原子炉に循環させているポンプ。
2. パージ水  
第2シール摺動部に流れ込み、第2シール部に析出するほう酸を洗い流すために供給される、放射性物質を含まない純水。第2シール部に供給された後、第2シールリークオフ等を通じて格納容器冷却材ドレンタンクへ回収される。
3. パージ水ヘッドタンク  
1次冷却材ポンプ第2シールに供給されるパージ水を、静水頭差を利用して連続供給するためのヘッドタンク。放射性物質を含まない純水を貯蔵している。
4. スタンドパイプ  
1次冷却材ポンプの軸シール部の潤滑のための水を補給するとともに、軸シール部内の水量を監視するために取り付けられた容器。
5. 封水  
1次冷却材ポンプのシール部の潤滑と清浄度保護のため、外部から軸貫通部へ、内部流体より高い圧力で供給するシール水。
6. 原子炉格納容器(CV)  
原子炉容器や蒸気発生器、1次冷却材ポンプなど重要な機器を覆っている気密構造物。
7. 格納容器冷却材ドレンタンク  
1次冷却材ポンプのパージ水、封水等のドレンを、専用の配管を通じて回収するタンク。
8. 軸シール  
内部流体が軸貫通部から漏れいしないようシールするための構成部品。
9. ドライブピン  
シールランナーの回転に対し、シールリングがつれ回ろうとすることに対し、回転を抑制する廻り止めピン。
10. リテーナー  
ハウジングとカーボンリングとの間を仲介する部品。
11. カーボンリング  
軸とともに回転するシールランナーとの摺動部をもつ環で、シール機能を発揮させる部品。
12. シールリング  
カーボンリング、リテーナー、ホルダー等から構成され、ばね等により軸方向に動く軸シール構

成部品の総称。

13. ホルダー  
カーボンリングを固定する部品。
14. Oリング  
断面が円形の環型をしたシール部品。
15. シールランナー  
シールリング(カーボンリング)との摺動部をもつ環で軸とともに回転し、シール機能を発揮させる部品。
16. 原子炉格納容器全体漏えい率検査(CVLRT)  
原子炉格納容器に内圧を加え、原子炉格納容器からの漏えい量が基準値を超えていないことを測定するための漏えい率検査。
17. オイルリフトポンプ  
1次冷却材ポンプモータ軸受の損傷防止のため、1次冷却材ポンプ起動時に強制的に潤滑油膜を形成するためのポンプ。
18. ハンドターニング  
一次冷却材ポンプの軸を手動で回転させること。
19. 寸動運転  
ポンプを瞬時あるいは短時間に起動・停止する操作。
20. 改良型シール  
重大事故等時の高温高圧条件下での耐力向上を考慮した軸シール。
21. シール面  
内部流体の漏れや浸入を防ぐ面。
22. リーク  
漏えい。
23. カートリッジシールリークテスト  
カートリッジシール(第2シールおよび第3シールを一体として組み立てたもの)の組立後、カートリッジシール単体として実施するリーク試験。

24. シールリングの追従

シールリングがシールランナーの動きに合わせて滑らかに動くこと。

25. インサート部

シールリング(リテーナー)の凸部が差し込まれる部分。

26. カートリッジスリーブ

第2、第3シール回転体を組み付けるスリーブ。

27.ハウジング

第2シールまたは第3シールを覆う、耐圧機能を有する金属筐体部品。