



# アクティブ試験における主な事象 の原因と対策



1



1. アクティブ試験における不適合発生推移
2. 分析建屋における微量の放射性物質の体内への取込み  
(2006年5月、6月)
3. ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋における脱硝皿への溶液  
の誤供給 (2007年3月)
4. エンドピース酸洗浄槽におけるバスケットの一部変形 (2007  
年10月)
5. 高レベル廃液濃縮缶内の温度計保護管内への高レベル廃液  
の漏えい (2010年8月)
6. 安全蒸気ボイラ2台の故障 (2011年7月)

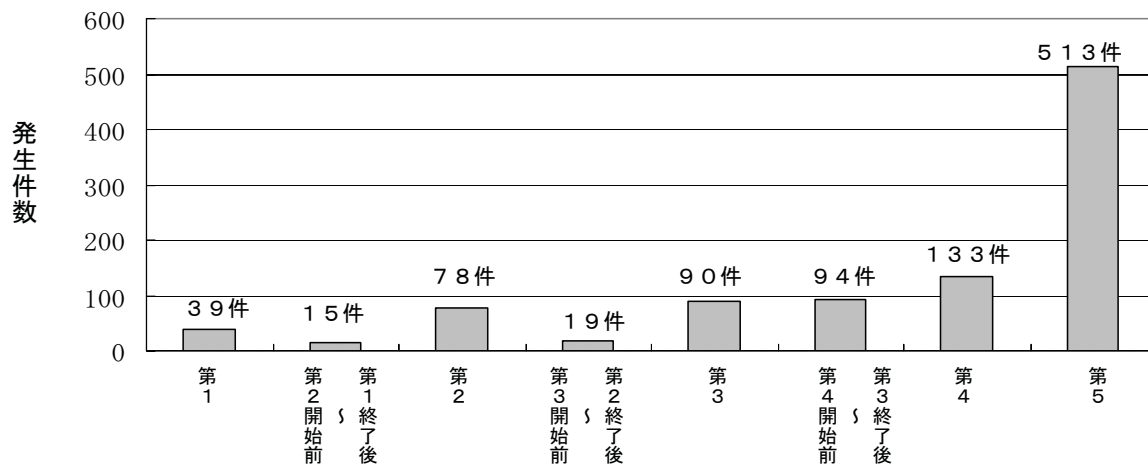
2

# アクティブ試験における不適合発生推移

日本原燃株式会社



- アクティブ試験を実施するひとつの目的は、不適合事項と改善事項を抽出し、設備やシステムの改善等を行い、これらの不適合等を処置すること。
- アクティブ試験第1ステップ～第5ステップ(2006年3月31日～2010年3月31日)期間中で、679件の不適合事項と302件の改善事項を抽出。
- 不適合事項については、その原因を特定し、是正処置を実施してきており、改善事項についても、処置内容を検討し、予防処置を実施。



アクティブ試験各ステップ期間中における不適合等の発生件数

3

# アクティブ試験における不適合発生推移

日本原燃株式会社



対 象		発生件数	期 間
試験ステップ	第1ステップ	39件	3ヶ月
	第2ステップ	78件	3.5ヶ月
	第3ステップ	90件	3ヶ月
	第4ステップ	133件	5.5ヶ月
	第5ステップ (2010年3月31日まで)	513件	25.5ヶ月
試験ステップ間	第1ステップ終了から第2ステップ開始前まで	15件	1.5ヶ月
	第2ステップ終了から第3ステップ開始前まで	19件	2ヶ月
	第3ステップ終了から第4ステップ開始前まで	94件	4ヶ月

- 社会的影響、原子炉等規制法に基づく事故報告等の観点で、主な事象として以下の事象を挙げ、各事象の発生事象、原因および対策について次頁以降に概要を示す。
  - ・分析建屋における微量の放射性物質の体内への取込み(2006年5月、6月)
  - ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋における脱硝皿への溶液の誤供給(2007年3月)
  - ・エンドピース酸洗浄槽におけるバスケットの一部変形(2007年10月)
  - ・高レベル廃液濃縮缶内の温度計保護管内への高レベル廃液の漏えい(2010年8月)
  - ・安全蒸気ボイラ2台の故障(2011年7月)

4

1. アクティブ試験における不適合発生推移
2. 分析建屋における微量の放射性物質の体内への取込み  
(2006年5月、6月)
3. ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋における脱硝皿への溶液  
の誤供給 (2007年3月)
4. エンドピース酸洗浄槽におけるバスケットの一部変形 (2007  
年10月)
5. 高レベル廃液濃縮缶内の温度計保護管内への高レベル廃液  
の漏えい (2010年8月)
6. 安全蒸気ボイラ2台の故障 (2011年7月)

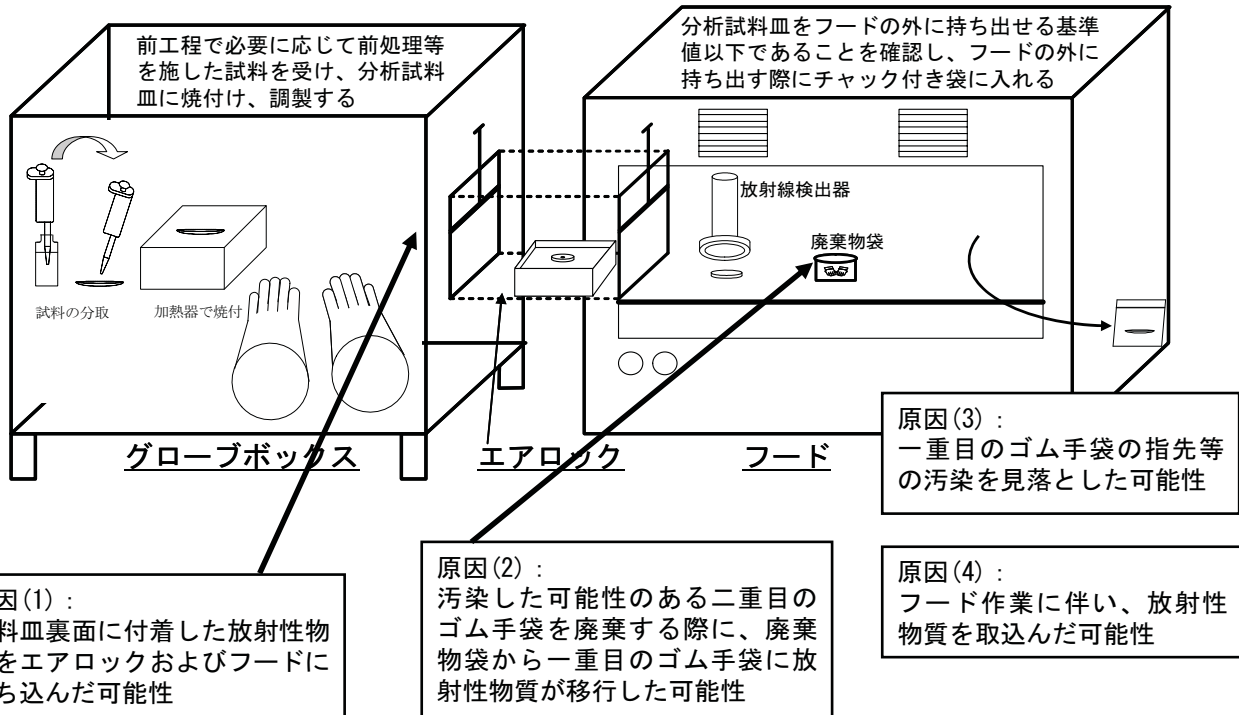
## 事象概要

- 2006年5月22日、管理区域用被服を洗濯する前のサーベイで、被服右胸部に汚染を確認。
- 当該服を着用していた作業員を調査したところ、微量の放射性物質を体内に取込んでいたことを5月25日に確認。これによる被ばく(預託実効線量)は0.014mSvであり、法令に定める年線量限度(50mSv)より十分低い。
- なお、アクティブ試験以降、2回の被服の汚染があったが、いずれも被服のみの軽度な汚染であること、作業環境に問題がないこと、汚染部位が呼吸域から遠いことから、内部被ばくはなかった。



# 作業の概要と原因

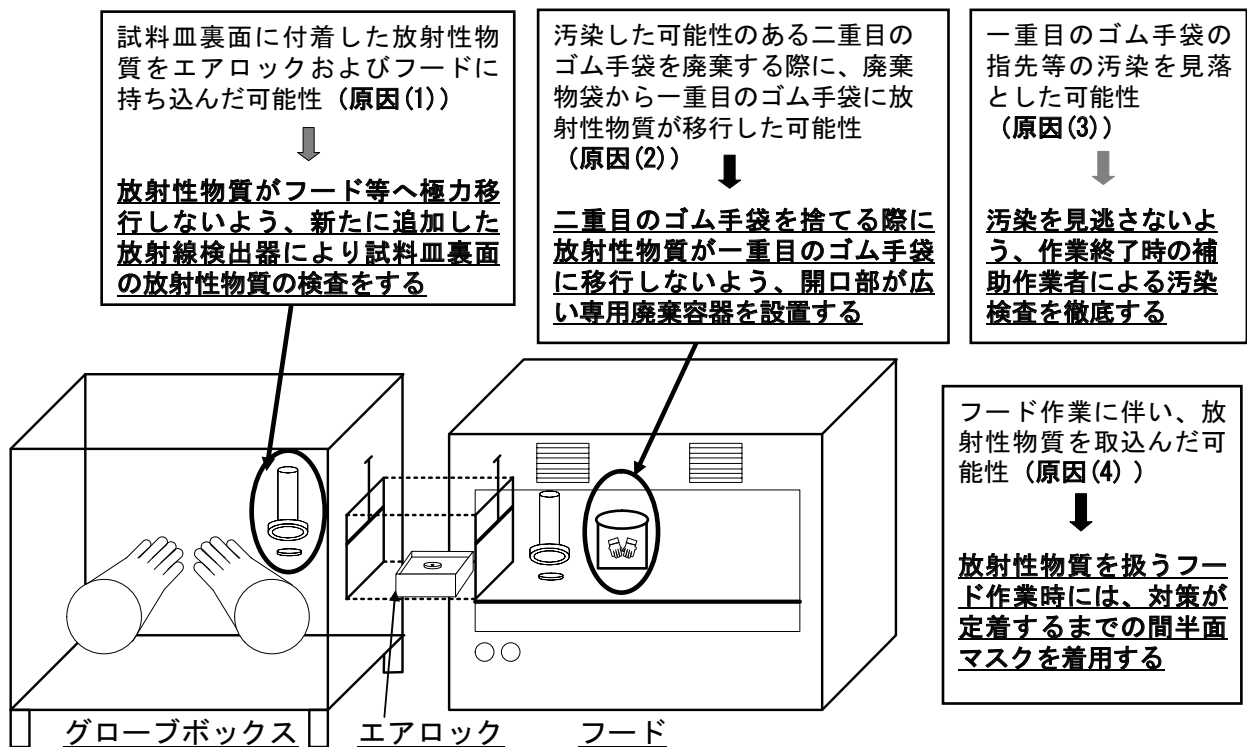
日本原燃株式会社



7

# 再発防止策

日本原燃株式会社

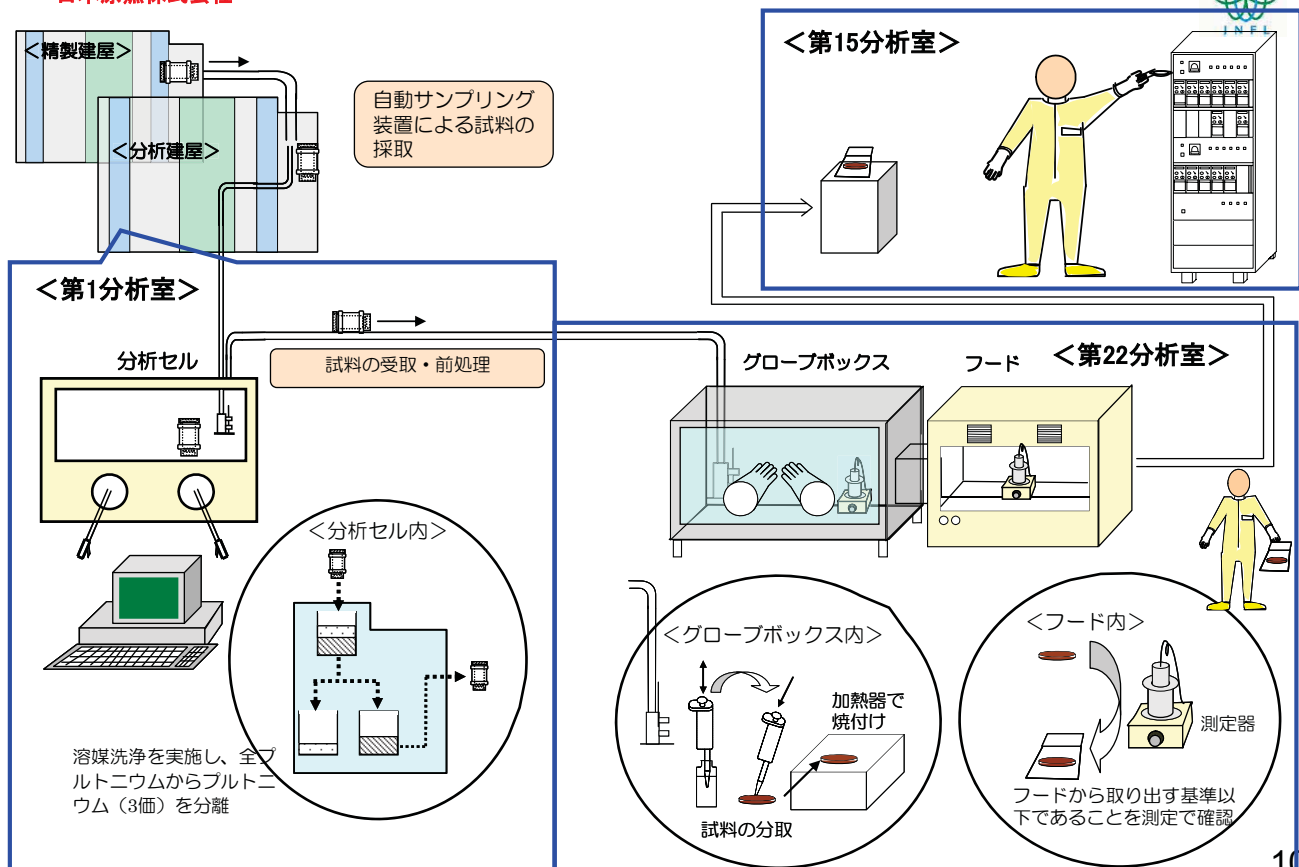


8

# 事象概要

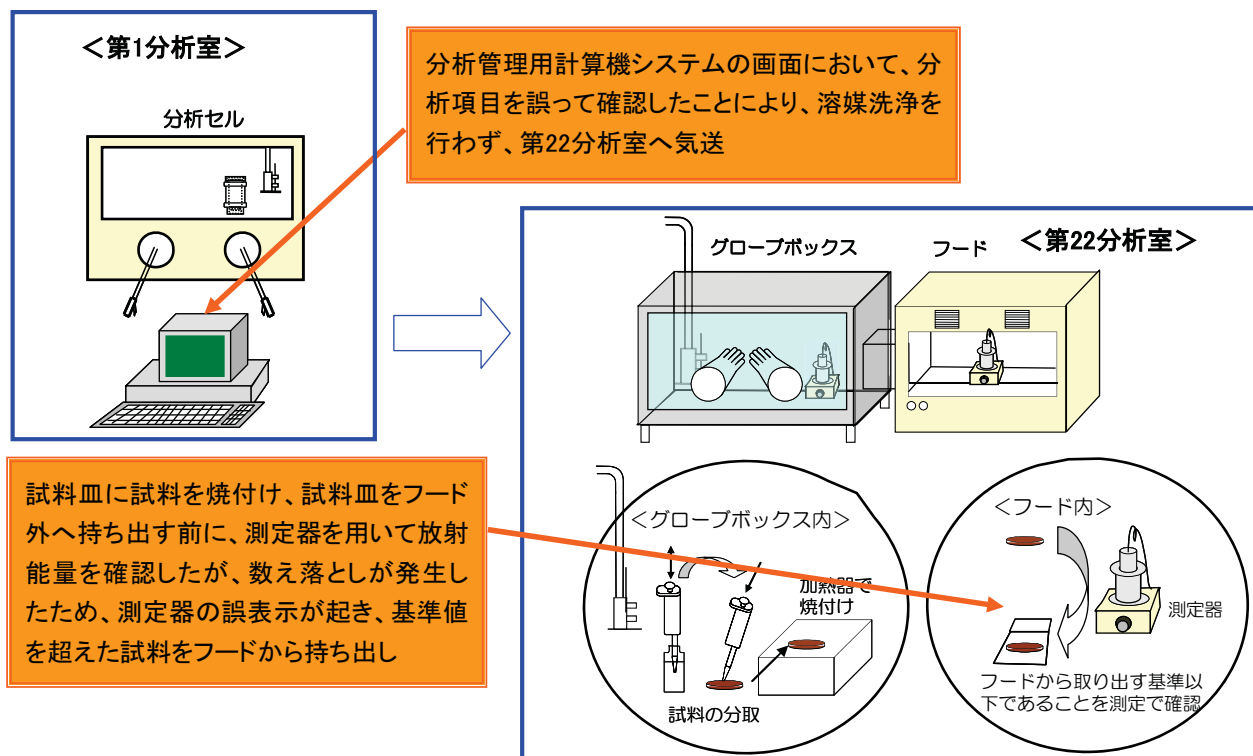
- 2006年6月24日、分析作業を行っていた作業員が分析室から退出する際、靴底に汚染を検出した。
- 身体サーベイの結果、左右のゴム手袋表面及び右足靴底部に放射能が検出されたため、鼻スミヤを採取した結果、アルファ:0.7Bqが検出された。その後実施したバイオアッセイによる測定の結果、放射性物質は検出されず、内部被ばくはなかった。
- なお、当該作業員は、当日、当社産業医による臨時健康診断を受け、その結果、異常はなかった。

## 分析の流れ



## 事象発生原因

日本原燃株式会社



11

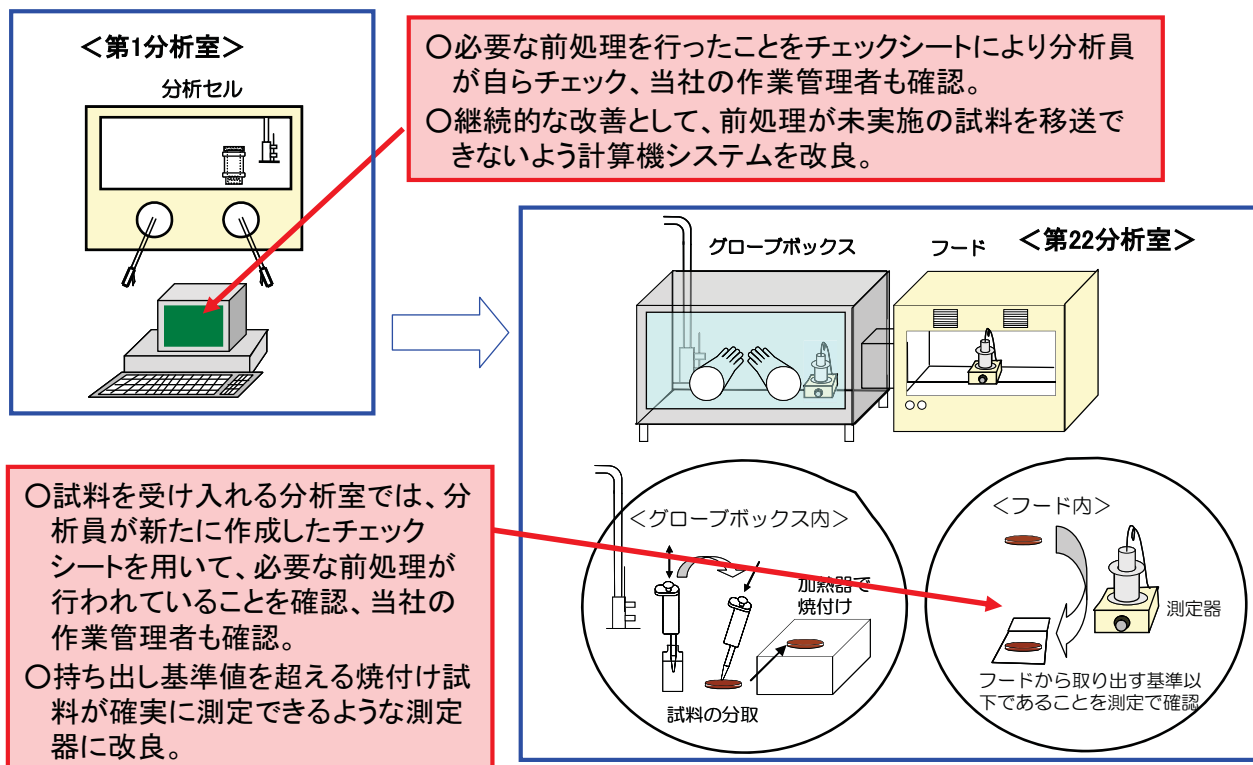
## 事象発生原因

日本原燃株式会社



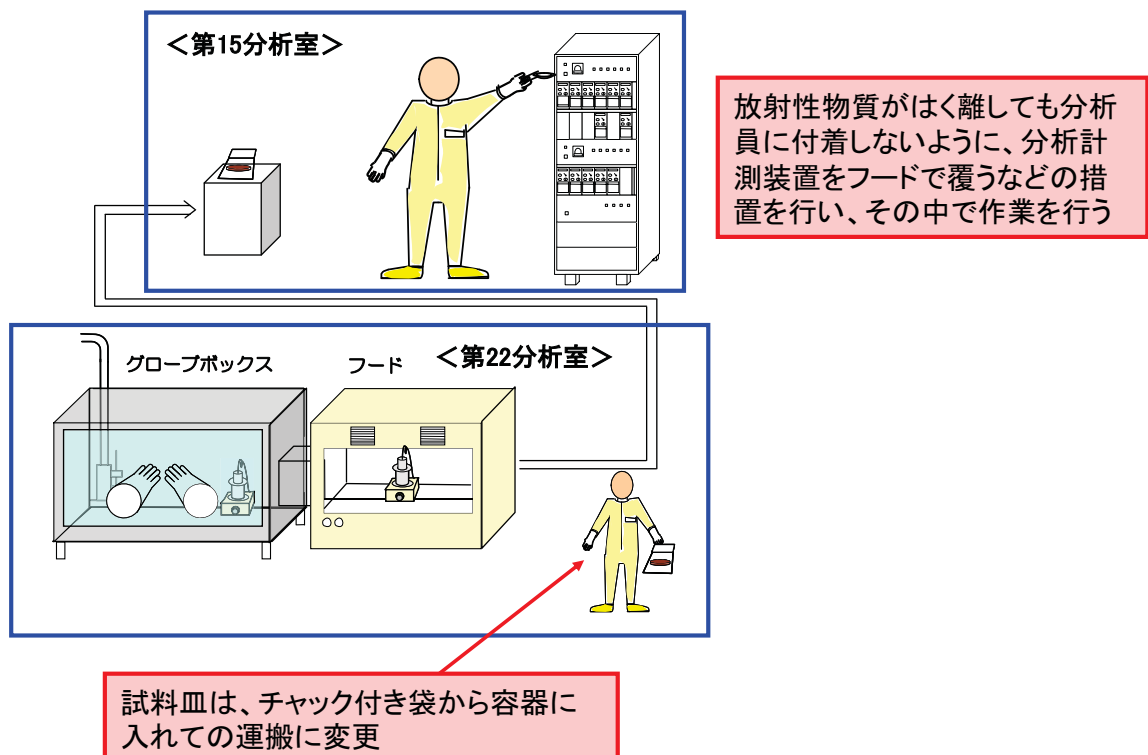
12

## 再発防止策



13

## 再発防止策



14



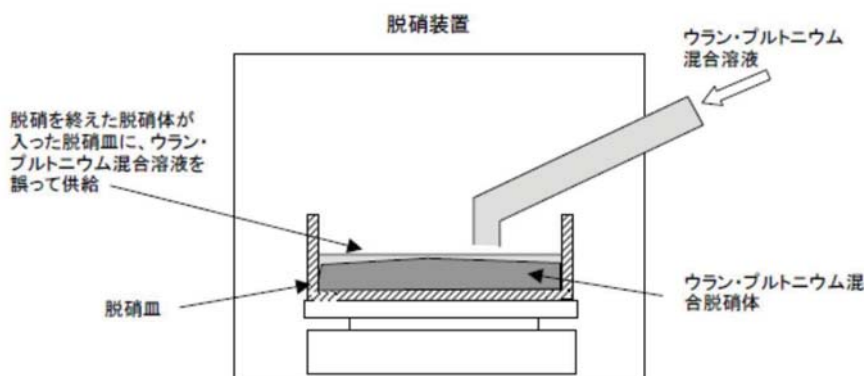
1. アクティブ試験における不適合発生推移
2. 分析建屋における微量の放射性物質の体内への取込み  
(2006年5月、6月)
3. **ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋における脱硝皿への溶液の誤供給 (2007年3月)**
4. エンドピース酸洗浄槽におけるバスケットの一部変形 (2007年10月)
5. 高レベル廃液濃縮缶内の温度計保護管内への高レベル廃液の漏えい (2010年8月)
6. 安全蒸気ボイラ2台の故障 (2011年7月)

15

## 事象概要

- 2007年3月11日、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋 脱硝工程B系において、操作員(以下、「当該操作員」という。)が、中央制御室からの運転操作によって、アクティブ試験に係る脱硝工程の処理性能試験を行っていた。
- 当該操作員は、脱硝装置から脱硝体が入った脱硝皿を取り出すための、次ステージへ撤去、搬送操作を行うべきところ、これを実施せずに再び同じ脱硝皿を脱硝装置に設置し、ウラン・プルトニウム混合溶液(以下、「混合溶液」という。)の供給を行い、脱硝運転を開始した。
- 別の操作員が運転操作画面を確認していたところ、直前に脱硝運転を行った脱硝皿と同じ番号の脱硝皿が脱硝運転されていることから、搬送操作を行わずに脱硝体が入った脱硝皿に混合溶液を誤供給したことに気づいた。

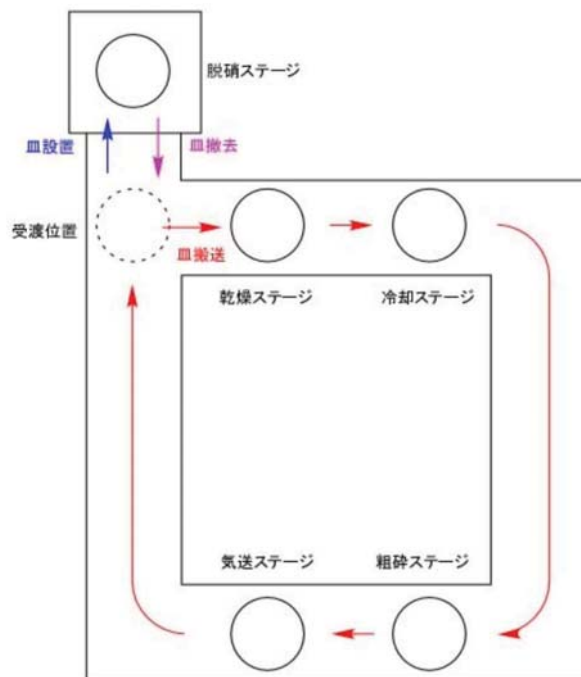
※脱硝皿は直径及び高さを制限する形状寸法管理された機器であり、定量ポット3容量分(7.5リットル×3)の混合溶液を脱硝皿へ供給した場合の臨界安全について評価し、臨界に至らないことが許認可において確認されている。



16



# 脱硝工程の運転



全自動: 全ステージ(脱硝、乾燥、冷却、粗砕、気送)の運転及び血搬送(血設置、血撤去、血搬送)の運転を連続で行うモード  
半自動: 各ステージ(脱硝、乾燥、冷却、粗砕、気送)の運転を単独で行うモード  
手動: 各ステージの装置類が動作単位で運転できるモード

## 原因

### (1) 制御ロジックの不備

- 事象発生前のバッチで「全自動」運転により、脱硝運転を行っていたが、警報が発報したため、警報復旧後「半自動」運転に切り替え残りの脱硝運転を行った。
- 次バッチの「全自動」運転に移行する前に、脱硝血の「撤去」、「搬送」、「設置」の3つの操作を順次実施することが必要であったが、当該操作員は「撤去」後「搬送」せずに「設置」操作を行った。
- 脱硝装置から、「撤去」された脱硝血について、手順書で示す次の操作である「搬送」のほかに、脱硝血を再度脱硝装置に設置する「設置」も選択できるロジック・画面表示となっていた。

### (2) 操作手順書(チェックシート)のあいまいさ

- 運転手順書のチェックシートは、脱硝終了後、「撤去」、「搬送」、「設置」の3つの操作が終了した時点でチェックする様式としていた。
- 当該操作員は運転操作画面により操作を進め、運転手順書のチェックシートへのチェックが後回しになり、3つの操作(「撤去」、「搬送」、「設置」)のうち「搬送」操作の抜けに気がつかなかった。

### (3) 目視確認用テレビカメラの照明不足

- 脱硝血へ混合溶液を供給するにあたっては、脱硝血が空であることを操作員がテレビカメラにより目視で確認する操作手順としていたが、照明不足により、脱硝血の状態が見えにくかったため、空であると誤認した。

## ○根本的な対策

- 「半自動」運転において「搬送」終了を、「設置」の許可条件とし、脱硝装置に脱硝体が入った脱硝皿を「設置」できない制御ロジックに改良する。

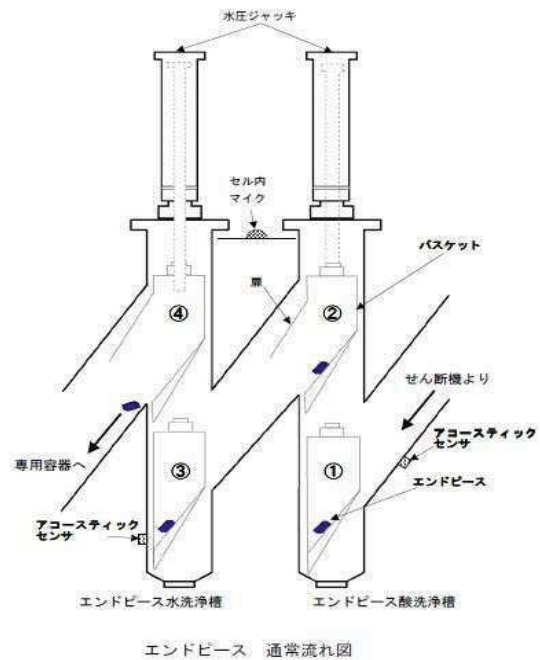
## ○その他の対策

- 「半自動」運転時に各操作単位の操作順序を明確にする、「半自動」運転時は当直長に報告し、当該操作を行っていることを明確にする等、運転手順書を見直す。
- 脱硝皿の状態を明瞭に確認できるようテレビカメラ用の照明を交換する。

1. アクティブ試験における不適合発生推移
2. 分析建屋における微量の放射性物質の体内への取込み  
(2006年5月、6月)
3. ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋における脱硝皿への溶液  
の誤供給 (2007年3月)
4. エンドピース酸洗浄槽におけるバスケットの一部変形 (2007  
年10月)
5. 高レベル廃液濃縮缶内の温度計保護管内への高レベル廃液  
の漏えい (2010年8月)
6. 安全蒸気ボイラ2台の故障 (2011年7月)

## 事象概要

- PWR燃料せん断運転中にエンドピース酸洗浄槽（以下、「酸洗浄槽」という。）のバスケットを上端位置から下降させていたところ「バスケット下降時間超過」注意報が発報し、上端位置付近で停止した。その後、せん断運転を停止した。
- 手動運転にてバスケットを昇降させたが、その可動範囲は限定されていた。状況確認のため、カメラを使用して酸洗浄槽内部の点検を行った結果、バスケットの扉が変形していること及び酸洗浄槽底部にエンドピースがあることを確認した。その後、カメラを使用して酸洗浄槽の内部状況を詳細に点検し、当該バスケットの交換方法等について、検討を行った。
- 今回の事象は、直ちに安全に影響を及ぼすおそれはないものの、本施設がアクティブ試験中であり、慎重な補修を実施するために時間を要することから、法令に基づく報告をすることと判断した。

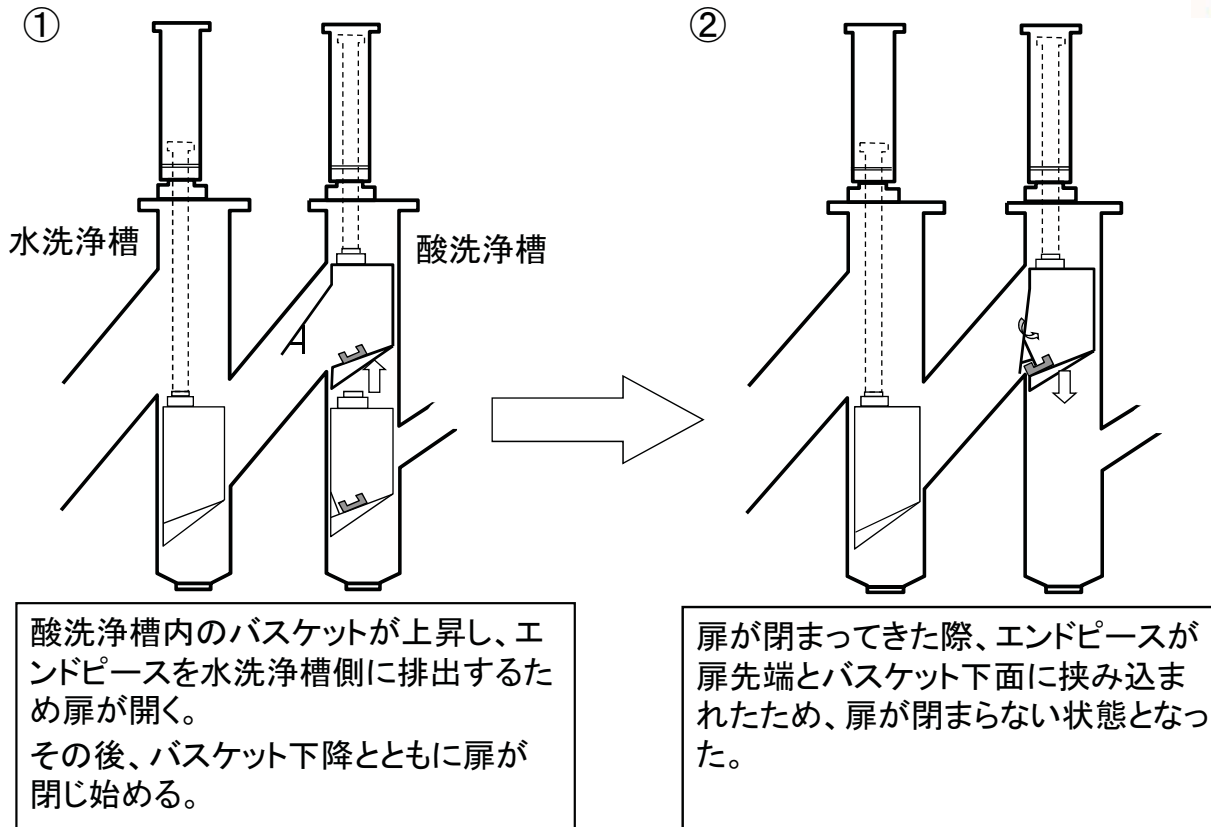


## 原因

- (1) エンドピース水洗浄槽（以下、「水洗浄槽」という。）のアコースティックセンサで、グリッド等の落下振動をエンドピースが酸洗浄槽から水洗浄槽に投入されたと検知し、酸洗浄槽のバスケットが下降を開始したが、エンドピースはバスケット内斜面に留まっていた。
- (2) 酸洗浄槽のバスケットの扉が閉となる直前の位置で、エンドピースが扉先端と干渉したため、扉が閉とならなかった。
- (3) バスケットの下降に伴い扉先端部が酸洗浄槽の内胴に接触した。この位置でバスケットが停止したため、「バスケット下降時間超過」注意報が発報した。
- (4) 警報対応手順書に基づき、現場手動操作でバスケットの昇降を行った。この際、通常圧力では復旧しなかったため、引き続き警報対応手順書に基づき高圧力での手動運転により昇降操作を行った。この時、扉先端が内胴に接触した状態で、高圧力で下降させたことにより扉に荷重がかかり、扉が変形した。
- (5) 扉が変形するとともに扉が内胴に引っかかったことにより、バスケットが傾いた。この際、バスケットと酸洗浄槽（内胴）との間に隙間が生じ、エンドピースがずれ落ち、酸洗浄槽底部に落下した。

## 事象発生の流れ

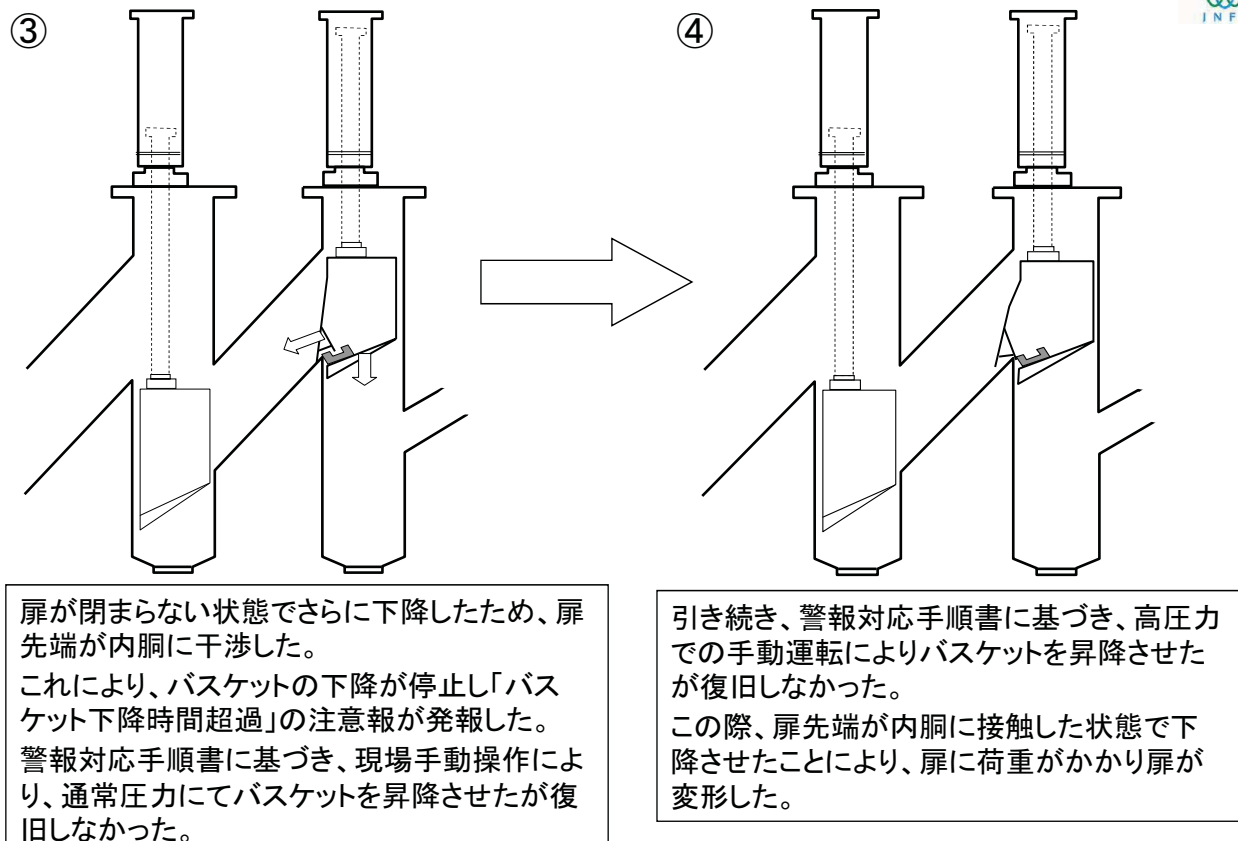
日本原燃株式会社



23

## 事象発生の流れ

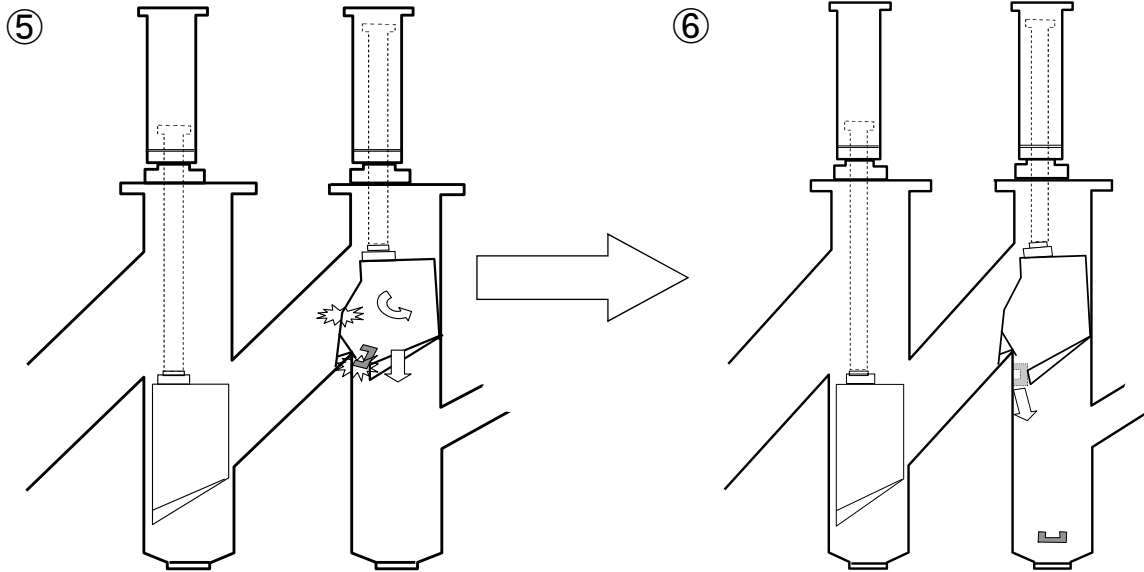
日本原燃株式会社



24

## 事象発生の流れ

日本原燃株式会社



さらにバスケットを下降させる作業を実施したため、扉が変形するとともに扉が内胴に引っかかることによりバスケットが傾いた。この際、バスケットと酸洗浄槽（内胴）との隙間をエンドピースがずれ落ちた。

エンドピースが酸洗浄槽内に落下した。

25

## 再発防止策

日本原燃株式会社



### a. エンドピースがバスケット内斜面に留まったことに対する対策

エンドピースがバスケット内斜面に留まって引っかかりが発生する偶発的な事象を効果的かつ確実に防止することは困難である。万一発生した場合には、「バスケット下降時間超過」注意報等により検知する。

### b. グリッド等の落下振動をエンドピース落下と検知したことに対する対策

現状の設定値は、ウラン試験での調整結果に基づき、エンドピースの落下をできるだけ検知するよう振動加速度の落下判定レベルを設定し、アクティブ試験においてその妥当性を確認してきた。今回グリッド等の落下振動をエンドピース落下と検知したことから、誤検知を少なくする方向に設定値を再調整する。

また、アコースティックセンサが検知しない場合の対策として、水洗浄槽内の状況を確認するためのカメラを今後計画的に設置する。

26

## 再発防止策

### c. 通常圧でバスケットが昇降しなかったことに対する対策

エンドピース、グリッド等の引っかかりが発生することは、偶発的な事象である。したがって、引っかかりを効果的かつ確実に防止することは困難であることから、万一発生した場合には、「バスケット下降時間超過」注意報等により検知する。

### d. 扉が変形したことに対する対策

扉と内胴が干渉した状態でバスケットの下降操作を高圧力で行ったことが、今回の事象の直接的な原因であることから、下降操作に係る高圧力の設定値を扉が変形する値以下にする。

また、扉の変形を防止することにより、エンドピースの酸洗浄槽底部への落下は発生しない。

上記a～dより、偶発的な事象である引っ掛かりを効果的かつ確実に防止することは困難であることから、「バスケット下降時間超過」注意報により検知し、通常圧力及び高圧力でバスケットの昇降操作を行い、復旧する。

これにより復旧できない場合には、洗浄槽内をカメラにて点検し、遠隔治具を用いて引っかかりを解除する。

以上については警報対応手順書等に定める。

1. アクティブ試験における不適合発生推移
2. 分析建屋における微量の放射性物質の体内への取込み  
(2006年5月、6月)
3. ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋における脱硝皿への溶液  
の誤供給 (2007年3月)
4. エンドピース酸洗浄槽におけるバスケットの一部変形 (2007  
年10月)
5. 高レベル廃液濃縮缶内の温度計保護管内への高レベル廃液  
の漏えい (2010年8月)
6. 安全蒸気ボイラ2台の故障 (2011年7月)

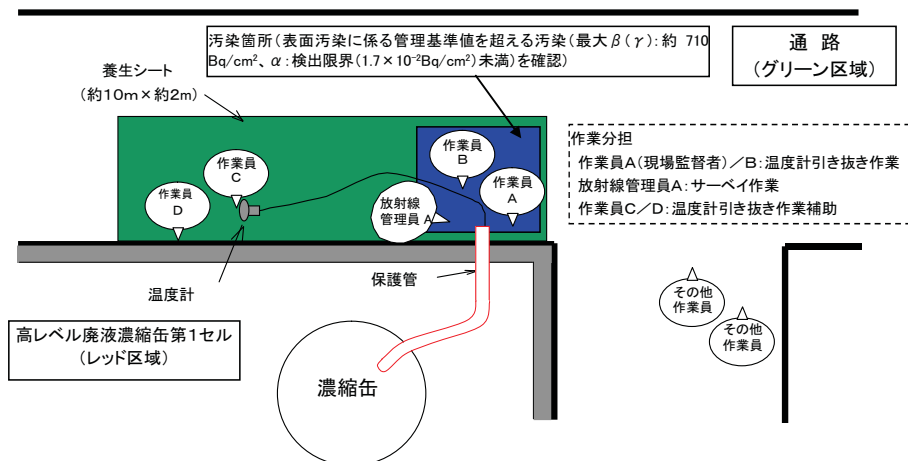


# 事象概要

日本原燃株式会社



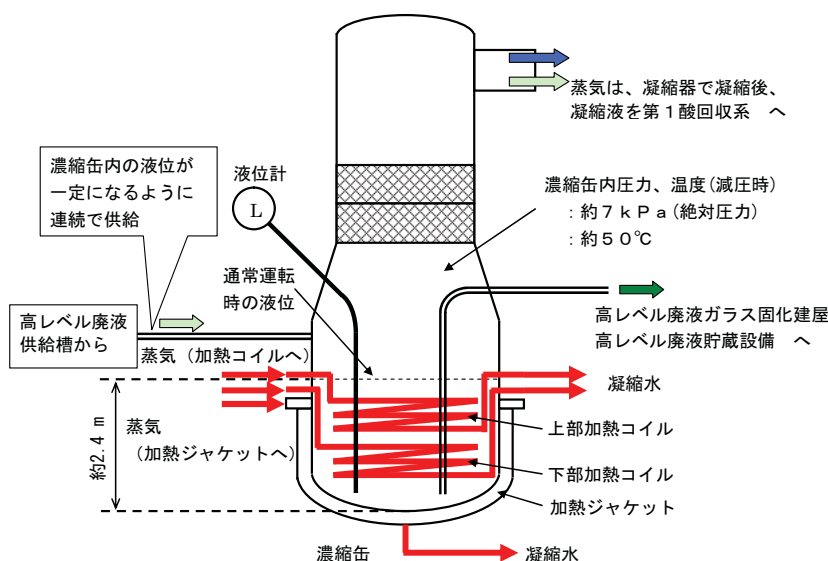
- 再処理施設分離建屋高レベル廃液濃縮缶第1セルに設置されている高レベル廃液濃縮缶Aの温度計交換作業(分離建屋南北第2廊下にて2010年7月30日実施)において、温度計の先端が温度計保護管(以下、「保護管」という。)から作業エリア側に出た時点で線量当量率が上昇した。
- その後、汚染の発生源の調査を進めたところ、高レベル廃液濃縮缶内の保護管内に高レベル廃液が漏えいしている可能性があることを確認し、「使用済燃料の再処理の事業に関する規則」第19条の16第3号に該当すると判断し、2010年8月2日国へ報告した。



29

## 高レベル廃液濃縮缶の概要

日本原燃株式会社



- ・蒸発・濃縮は、約7kPa(絶対圧力)の減圧下で、加熱・冷却に用いる濃縮缶内に設置された加熱コイル及び濃縮缶底部外側に設置された加熱ジャケットに蒸気を供給し、濃縮缶内液を約50℃に加熱する
- ・処理する液は、濃縮缶の上流に設置されている高レベル廃液供給槽から移送機器で濃縮缶内の液位が一定になるように連続で供給される。

30

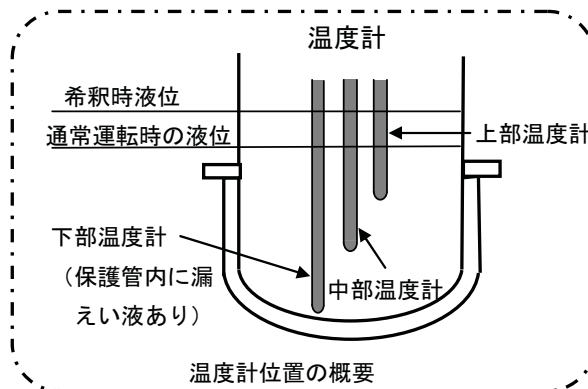


# 高レベル廃液濃縮缶の概要

日本原燃株式会社



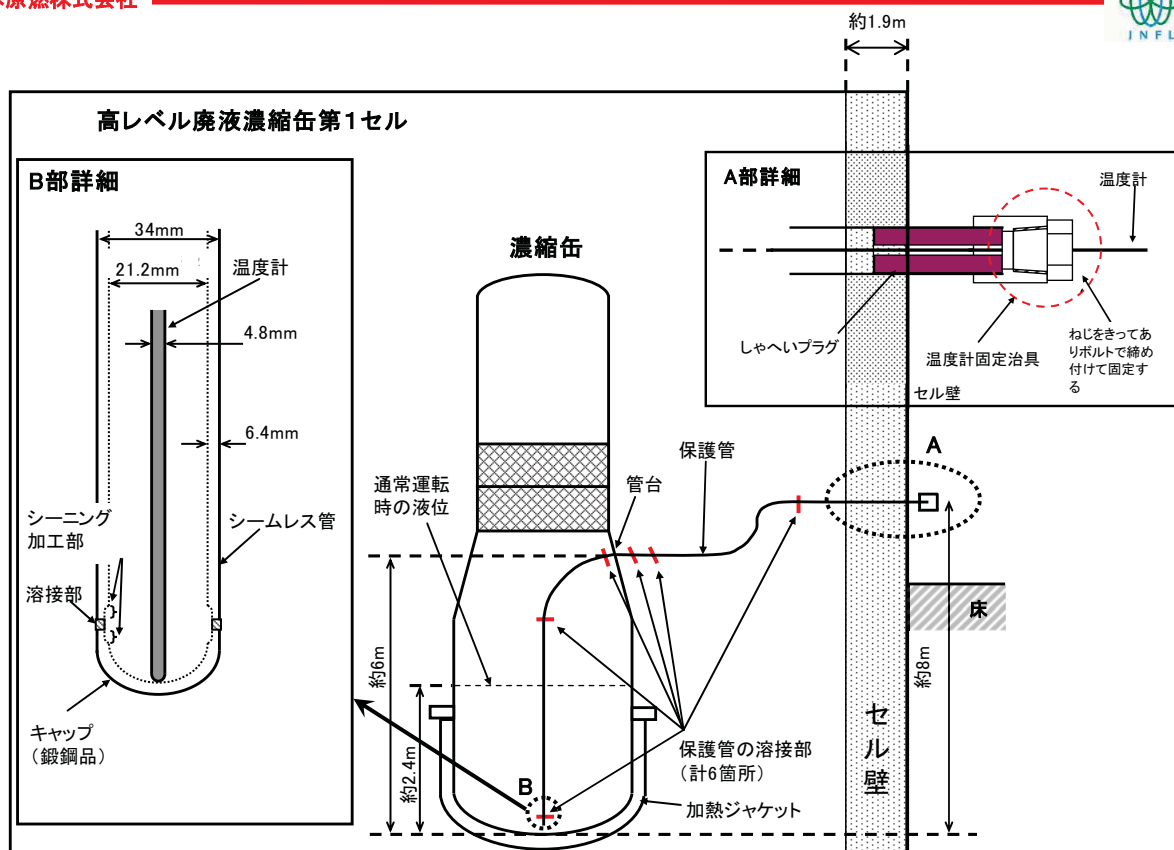
- ・濃縮缶における腐食環境を管理すること、及び適切な冷却の実施、濃縮運転中の温度分布を確認する目的で、濃縮缶内に温度計を上部・中部・下部の3本設置し、温度監視をすることとしている。
- ・濃縮缶内液の中央部を測定している中部温度計の測定値を代表点として監視するとともに、濃縮缶内液は圧力の低い上部で蒸発することから、上部温度計の測定値に基づき濃縮缶内温度に係る温度高警報を発報する設計としている。
- ・運転管理として、濃縮缶を加熱している際には、中央部の硝酸温度(中部温度計の指示値)を65℃以下とし、これを満足していないと判断した場合は、65℃以下に回復させる措置を講じることとしている。



31

# 保護管及び温度計の概要

日本原燃株式会社



32

## 保護管及び温度計の概要

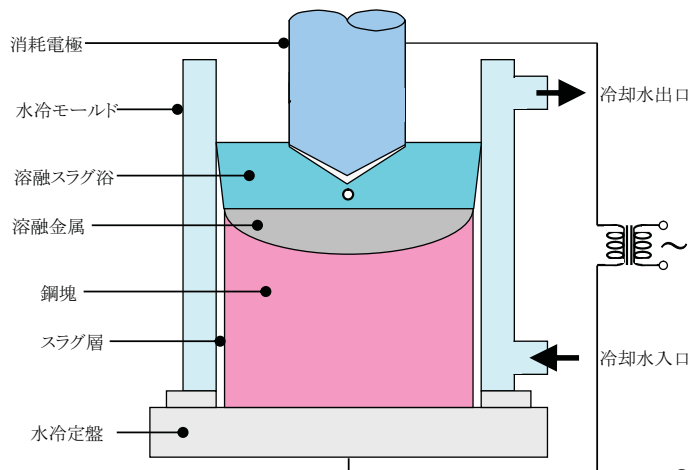
日本原燃株式会社



- 保護管のキャップの製作方法として、管材等から曲げ加工する方法と鍛鋼品から削り出し加工する方法が考えられるが、当該のキャップは厚さが6mm程度であり、曲げ加工が困難なため鍛鋼品を削り出して製作する方法を採用した。
- キャップについて、鍛鋼品の加工フロー腐食対策として、ESR※処理(下図参照)材を使用

※ESR(Electro Slag Re-melting: エレクトロスラグ再溶解法):  
鋼材を再溶解精錬して、高品質の鋼塊を製造する特殊溶解法の一つ。

- 1次溶解で得られた鋼塊を消耗電極とし、 $\text{CaF}_2$ (フッ化カルシウム)を主成分とする溶融スラグ浴のジュール熱により先端から逐次溶解し、水冷モールド内で方向性凝固させる方法
- 本法を用いることにより、溶融スラグ浴が溶鋼を大気から保護し、溶鋼中の酸化物、硫化物をスラグ中に吸収除去させることで、清浄度の高い均一な鋼塊を得ることができる。



33

## 損傷状況調査

日本原燃株式会社



- 保護管内に高レベル廃液が漏えいしたことを受け、発生している事象を把握するため、損傷状況調査を行った。
- 損傷状況調査として、以下の2点を行った。
  1. 現品調査 : 高レベル廃液の漏えいが発生した保護管及びその保護管に挿入されていた温度計を対象とした調査
  2. 模擬試験による確認 : 現品調査の結果を裏付けるための模擬試験による確認

損傷が発生している箇所がアクセス性が悪いため、可能な範囲での現品調査と現品調査結果等を踏まえた模擬試験の結果から得られる状況証拠が重要な情報。

34

## 現品調査

日本原燃株式会社



現品調査にあたっては、まず各調査項目に対して考え得る調査方法を挙げたうえで、濃縮缶で既に放射性物質を取り扱っていること、セル内に濃縮缶が設置されており、セル壁外表面から保護管先端までの距離が約12mあること、さらに保護管内径が最も細い部分で約14mmであることから、アクセスが非常に難しい場所であることを考慮し、実施可能な調査方法を以下のとおり選定した。

対象	調査項目	調査方法	調査結果
保護管	保護管内の液量	・ 液位測定治具表面の線量当量率測定による液位確認	・ 液面はキャップ溶接線の下にあった。また、液は黒ずんだものであり、液外周部は茶褐色であった。
	保護管内への液の浸入状態	・ 保護管の内部観察	・ キャップ溶接線付近及び上下のシーニング加工部には液垂れの痕跡は確認されなかった。
	保護管内の損傷箇所及び損傷の大きさ、残肉厚	・ 圧力降下確認(保護管内に液がある状態、保護管内に液がない状態) ・ 減圧による液浸入確認 ・ 気泡による損傷箇所確認 ・ 保護管底部の残肉厚確認	・ 圧力降下は確認されなかった。 ・ 液の浸入は確認されなかった。 ・ 下部保護管の底部の残肉厚は設計値を下回っていた。
温度計	保護管内の液量、保護管内への浸入時期	・ $\gamma$ 線測定による汚染範囲確認 ・ 外観観察 ・ 表面詳細観察 ・ レプリカ採取による温度計表面の凹凸観察 ・ 断面ミクロ観察	・ 汚染範囲確認の結果、温度計先端から約30mmまでが高い測定値を示し、約30～約100mmの範囲で減衰していく傾向が見られた。 ・ 研磨痕以外に、腐食や変色の痕跡等の表面状態の変化は確認されなかった。 ・ 未使用の温度計との有意な差は確認されなかった。

35

## 模擬試験による確認

日本原燃株式会社

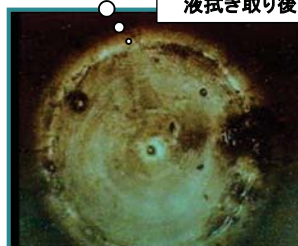


模擬試験による確認として、

- ①液垂れ確認
  - ②保護管への液浸入量等からの損傷の大きさ評価
  - ③廃液浸漬による温度計表面状態の変化の確認
- を実施。

損傷箇所は確認できなかった

液拭き取り後



溶接部付近に液垂れの痕跡確認されず



濃縮缶内の液が浸入した箇所に液垂れの痕跡は残るのか？

濃縮缶内

保護管先端

- ・ 保護管内の液はどうやって浸入したのか？(毛细管現象、濃縮缶から保護管にかかる圧力の影響)
- ・ 保護管内で確認された影響はどの程度の損傷の大きさで浸入するのか？

どの程度の損傷の大きさで圧力降下が確認できるのか？

36

## 調査結果に基づく評価

### ◆ 損傷箇所・大きさ

#### ➤ 損傷箇所は、保護管のキャップ部である可能性が高い

##### 【現品調査結果】

- ・キャップ溶接線、上下のシーニング加工部に液垂れの痕跡が確認されなかったこと

##### 【模擬試験結果】

- ・キャップ溶接線付近から液が浸入した場合には液垂れの痕跡が残りビデオスコープの映像から判別できる程度であること

#### ➤ 損傷箇所の大きさは、5～30 $\mu\text{m}$ 程度と推定(ただし、損傷箇所が塞がっている可能性は否定できない)

##### 【現品調査結果】

- ・圧力降下確認で圧力降下がなかったこと
- ・保護管内の液拭取り後の観察で確認された保護管内への液の浸入量から、約30  $\mu\text{m}$ 程度の大きさであると推定されること
- ・減圧による液浸入確認で液の浸入が確認できなかったこと

##### 【模擬試験結果】

- ・5  $\mu\text{m}$ 以下では液浸入しがたく、10  $\mu\text{m}$ 程度の損傷では空気の排出は微小で圧力降下が確認できず、30  $\mu\text{m}$ の損傷であれば圧力降下することが確認されていること

## 調査結果に基づく評価

### ◆ 廃液浸入時期

#### ➤ 長時間温度計が高レベル廃液に浸漬していた可能性は低いと考えられる

##### 【現品調査結果】

- ・温度計の外観観察において、特異な腐食や変色の痕跡等は確認されなかったこと

##### 【模擬試験結果】

- ・室温の場合には100時間経過しても表面状態に変化は見られなかったが、55℃の場合には100時間で表面が茶褐色に変色し、一部で腐食痕が認められたこと

#### ➤ 濃縮缶の運転における減圧解除後に濃縮缶内の圧力が負圧から常圧に戻る際にその変化が最も大きくなるため、保護管内へ液が浸入する可能性がある

##### 【現品調査結果】

- ・保護管への液浸入量等からの損傷の大きさ評価で、15  $\mu\text{m}$ の損傷の大きさにおいて500時間で約7 $\text{cm}^3$ の液が保護管内に浸入するという関係になり、液が保護管内に浸入することが十分に考えられる

##### 【模擬試験結果をふまえた評価】

- ・温度計の汚染が確認される前の直近の濃縮缶の減圧解除時点から温度計の汚染が確認されるまでの期間は約500時間であり、長時間温度計が高レベル廃液に浸漬していた可能性は低いとの評価とも整合する

### ◆ 全面腐食による損傷の可能性

- 保護管底部の残肉厚確認において、下部保護管では設計値を下回っており、下部保護管の底部では上部、中部保護管の底部と比較して腐食が進行していることが推定されるものの、全面腐食により損傷に至るような状態ではないと考えられる

## 要因分析

保護管内への漏えい事象に対する要因分析を以下の観点で実施した。

### (1) 設計の観点(材料、構造)

材料の選定が適切であったか、腐食に対する考慮が適切であったか等

### (2) 製作・施工不良の観点

設計どおり製作されていたか、製作時に不備がなかったか、運搬、据付時に欠陥の発生がなかったか等

### (3) 使用環境の観点

濃縮缶内の温度条件等が設計時の想定を上回っていなかったか等



# 要因分析

設計の観点での要因分析に基づく調査の結果から、

- ・濃縮缶の腐食環境を考慮した材料選定や濃縮缶運転時に発生する熱応力に対する考慮等、必要な設計上の考慮が行われていることを確認した。
- ・腐食に対する考慮のうち、肉厚の設定に対する考慮に係る調査において、ネプツニウムの影響を考慮した再確認が必要であることを確認した。

製作、施工不良に係る要因により保護管の損傷に至ったものではないことを確認した。

使用環境の観点での要因分析に基づく調査の結果から、

- ・濃縮缶内の機械的負荷について濃縮缶運転中に発生する応力により保護管が損傷に至らないことを確認した。濃縮缶の磨耗影響については濃縮缶運転中の最大流速においてもエロージョンは発生しないことを確認した。
- ・濃縮缶の腐食影響については、腐食影響成分の影響により全面腐食等が発生し保護管の損傷に至る可能性や加工フロー腐食が発生した可能性はないが、温度による腐食影響として温度上昇により加工フロー腐食が発生した可能性があることを確認した。

41

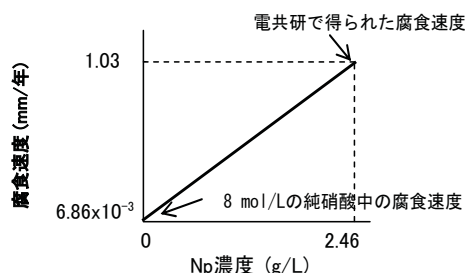
## 要因分析に基づく調査【使用環境の観点】

### <濃縮缶内の腐食影響>

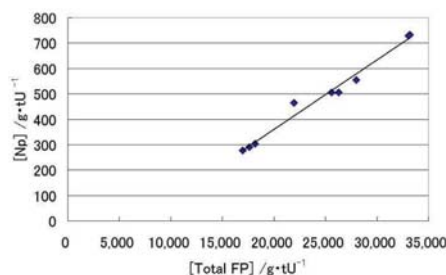
#### a. 濃縮缶内における腐食影響成分の影響

##### ➢ 酸化性イオンによる加工フロー腐食

- ・アクティブ試験時の高レベル濃縮廃液に含まれるネプツニウム濃度は、濃度の高かった第6～第10バッチでも保守側に見積もって1.4 g/L程度であり、電共研試験液の半分程度であったため、濃度に応じた腐食速度の補正を行った。
- ・使用済燃料中のFP濃度はネプツニウムと一次式の関係で変化するため、高レベル濃縮廃液のFP濃度をネプツニウム濃度で代表することにより、FP濃度の増減に伴う高レベル濃縮廃液の腐食性の変化を補正することができると考えた。



高レベル廃液におけるFP濃度をNp濃度で代表した場合の腐食速度の変化  
(減圧沸騰85℃高レベル廃液中)



アクティブ試験で処理した燃料におけるNp量及びFP量の関係 (ORIGEN計算値)

- ・アクティブ試験の廃液中のネプツニウム濃度実績からその腐食速度を評価すると0.04mm/年程度となり、過不動態領域には到達しないことを確認した。
- ・このことから、ネプツニウムの影響により、設計時に実施した腐食試験において評価した腐食速度よりも増加しているものの、加工フロー腐食が発生した可能性はない。

42

# 要因分析に基づく調査【使用環境の観点】

日本原燃株式会社



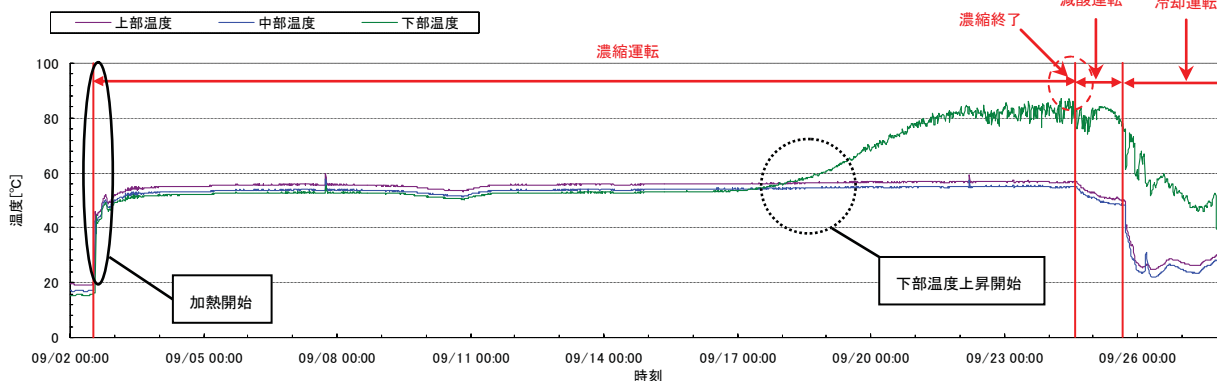
## ＜濃縮缶内の腐食影響＞

### b. 濃縮缶内における温度による腐食影響

- ・運転実績では、2007年3月頃のアクティブ試験第5バッチから、**蒸発・濃縮運転サイクルの後半において濃縮缶下部の温度が中部、上部に比べ上昇する現象が確認されており、その後、抽出廃液の処理を行った第10バッチまでの各バッチで下部温度の上昇が発生し、上昇した温度は64℃～105℃程度であった。**
- ・この温度上昇は、濃縮缶底部に発生した析出物が濃縮缶内の対流に影響して発生したものであった。

各運転バッチにおける処理量等

運転バッチ	運転バッチ毎の処理量 [tU]	平均燃焼度 [MWD/tU]	最大下部温度 [℃]
1	31	22900	56
2	43	32000	56
3	16	24500	54
4	50	24100	57
5	49	27000	64
6	54	42100	87
7	44	42100	92
8	58	35200	105
9	56	32100	89
10	48	34000	86



アクティブ試験第6バッチのトレンド：平成19年9月2日～9月30日

43

# 要因分析に基づく調査【使用環境の観点】

日本原燃株式会社



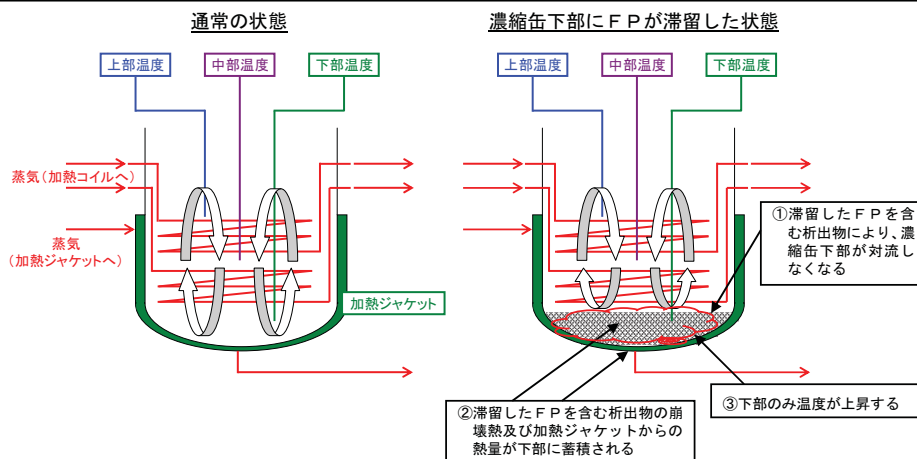
## ＜濃縮缶内の腐食影響＞

### b. 濃縮缶内における温度による腐食影響

- ・蒸発・濃縮運転中の濃縮缶内は酸濃度が高く、文献では高レベル廃液中に含まれるバリウム、ストロンチウムについては高硝酸濃度条件下で析出する知見がある。
- ・放射性物質でない核種を用いた模擬廃液試験(コールド試験)では、模擬廃液を濃縮した際に、ストロンチウム-バリウム硝酸塩、モリブデンとリン酸の化合物の析出が生成する結果が得られた。



- ・高レベル廃液の濃縮倍率上昇に伴い、高レベル廃液に含まれるFPのうち、**溶解度の低いストロンチウム-バリウム硝酸塩等が析出した。**
- ・析出物が濃縮缶下部に沈降・滞留したことにより、**濃縮缶下部の液の密度が上昇して下部液が対流しなくなった**
- ・滞留しているFPの崩壊熱や加熱ジャケットからの熱により**濃縮缶下部の水頭圧等に応じた飽和温度まで液温が上昇した。**



44



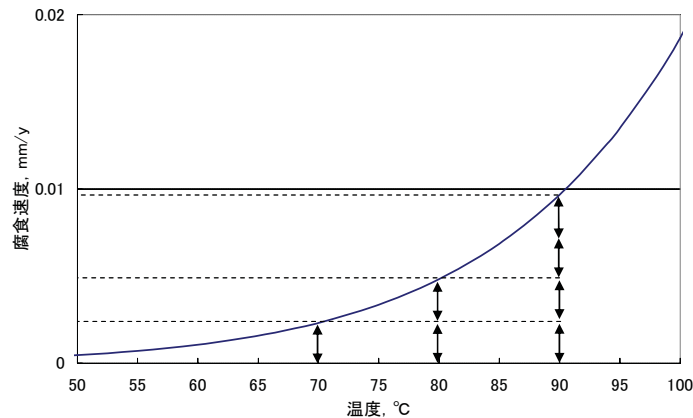
# 要因分析に基づく調査【使用環境の観点】

日本原燃株式会社



## <濃縮缶内の腐食影響>

### b. 濃縮缶内における温度による腐食影響



8 mol/L 硝酸中における R-SUS304ULC の温度と腐食速度の関係

- ・温度が10℃上がると腐食速度が約2倍になる。
- ・よって、アクティブ試験時に濃縮缶下部の温度が64℃～105℃程度まで上昇したことにより、腐食速度が設計時の評価より増加したものと考えられる。



- ・アクティブ試験時において濃縮缶下部温度上昇が発生したことを踏まえ、腐食速度に対する評価を実施した結果、温度上昇が発生した際の腐食速度が0.1mm/年を上回ることを確認した。
- ・温度上昇の影響により、過不動態領域に到達して加工フロー腐食が発生したものと考える。

45

## 推定原因

日本原燃株式会社

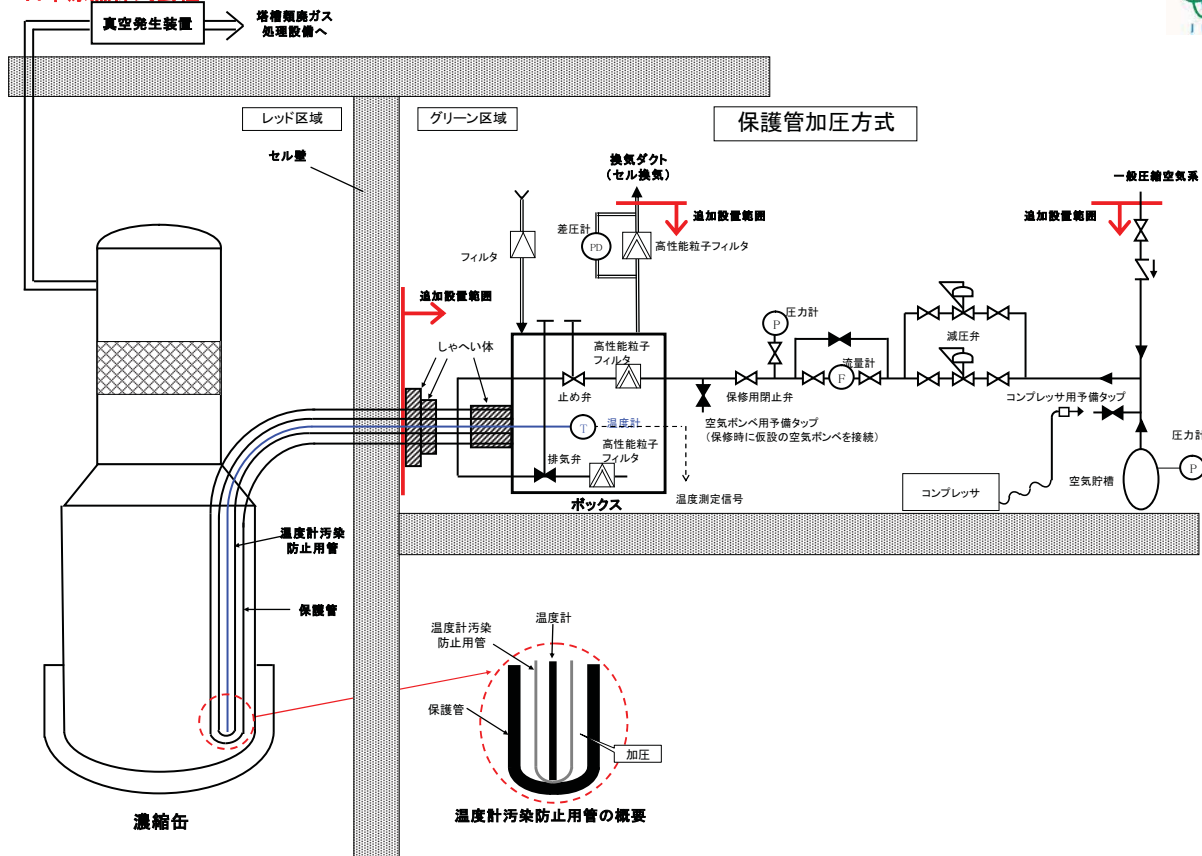


- 漏えいが発生した箇所は、キャップの溶接線付近または上下のシーニング加工部の可能性は低く、キャップ部である可能性が高い。
- また、キャップ部に損傷が発生した原因は、要因分析に基づく調査の結果、析出物の発生が濃縮缶内の対流に影響し、想定した以上の濃縮缶下部温度の上昇が発生したことにより鍛鋼品であるキャップ部でトンネル腐食が発生したものと推定する。

## 保護管損傷の復旧措置

- 当該保護管復旧の方策として、保護管内、濃縮缶内は極めて高い放射線環境下のセル内に設置されており、人がアクセスして直接保守を行うことができないこと等を考慮し、技術的成立性の観点で復旧方策の比較を行い、当該保護管復旧の方策として、加圧方式を採用することとした。
- 保護管内の圧力は、圧縮空気供給元である一般圧縮空気設備からの圧縮空気の供給停止があった場合や設備の保守時にも濃縮缶内からかかる圧力より高くなるように管理する。
- 圧縮空気の供給停止、保護管の損傷箇所の腐食の進展等を想定しても保護管内に液の浸入が発生しないことなどを評価及び実規模試験により確認した。

## 保護管損傷の復旧措置



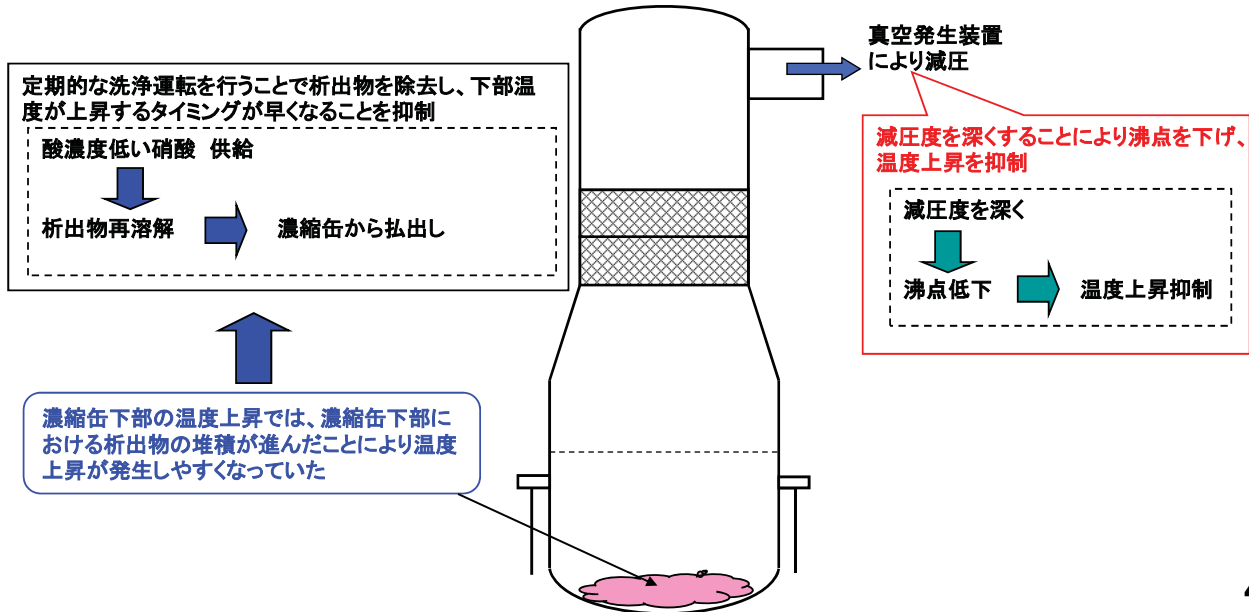
# 腐食環境緩和のための対策

日本原燃株式会社



- アクティブ試験第5バッチからの濃縮運転において濃縮缶下部の温度が上昇する現象が確認され、それにより腐食環境が厳しくなり、加工フロー腐食が発生したと考えられることから、今後の運転に対して、温度上昇に対する対策として以下の項目について検討した。
- なお、下記対応は長期予備の運転に対しても実施することとする。

## ① 濃縮缶下部の温度上昇の抑制



49

# 腐食環境緩和のための対策

日本原燃株式会社



## ② 濃縮缶の温度管理

「①濃縮缶下部の温度上昇の抑制」に示した対策により濃縮缶下部の温度上昇の抑制を図るものの、濃縮運転を実施する中で温度上昇が発生する可能性があることから、濃縮缶の温度管理を以下のとおり行う。

なお、減酸運転中は、廃液の処理が行えないため、温度状況に応じて減酸運転が開始できるよう通常の運転時から廃液を貯留する貯槽の容量管理を行う。

- 濃縮缶全体の温度状態を把握する目的で、3つの温度計により管理
- 温度上昇が発生した場合には、温度を下げるための操作を実施
  - ・減圧度を深くする操作により温度を下げる
  - ・並行して上流工程の運転調整により廃液発生量を低減した上で、減酸運転を実施
  - ・減酸運転では、濃縮液の酸濃度を引き下げることにより高酸濃度下で析出した析出物の再溶解及び沸点の低下により温度を下げる。
- 3本の温度計のいずれかの値が65℃を超えた場合には直ちに濃縮のための廃液供給を停止し、濃縮液の払出しに向けた減酸運転(通常のバッチ運転中の減酸運転の位置付け)を行い、濃縮液を払出す。濃縮液の払出し後、酸濃度の低い硝酸により濃縮缶内の洗浄を実施

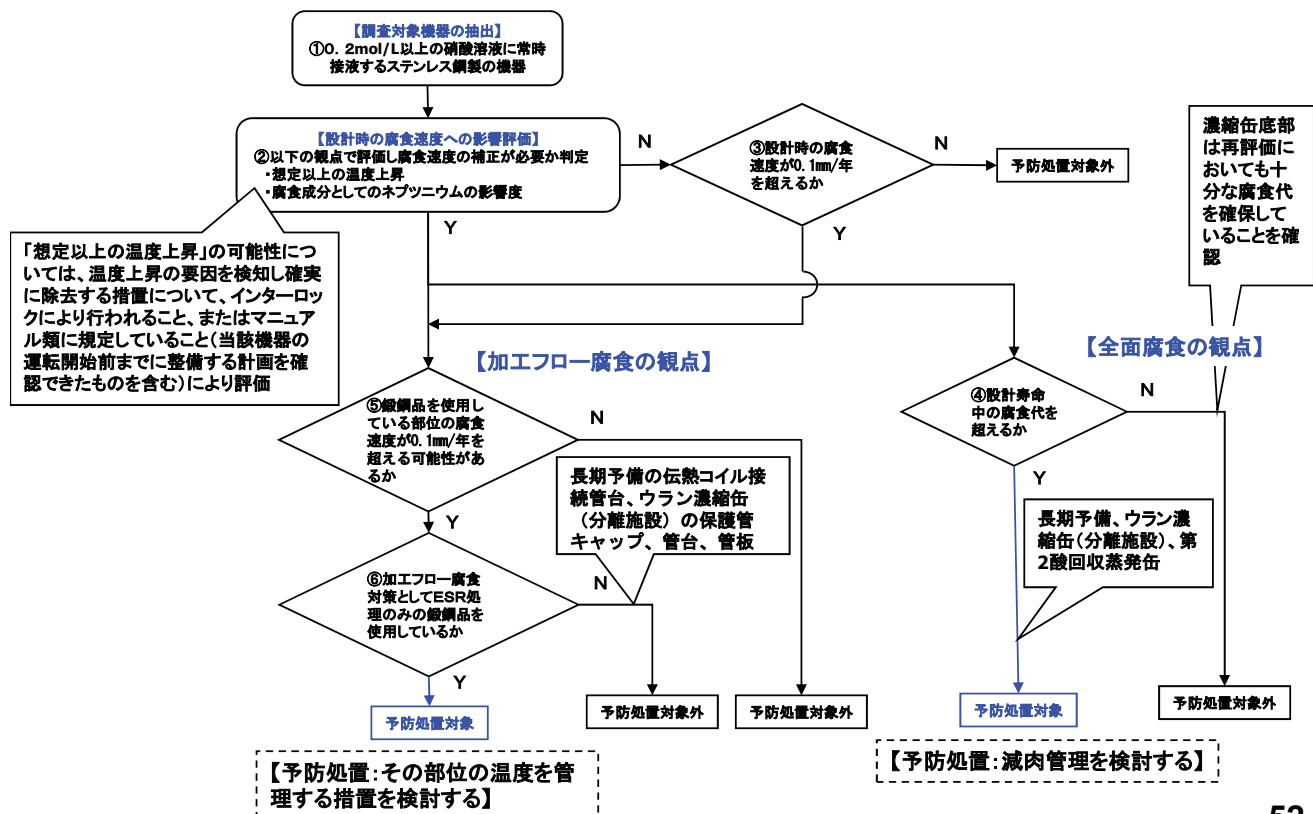
50

# 類似機器での類似事象の発生防止

- 今回の事象の直接的な原因は、想定した以上の濃縮缶下部温度の上昇と考えられ、厳しい腐食環境となったことにより、鍛鋼品であるキャップ部で加工フロー腐食が発生したものと推定しており、これを踏まえ、類似事象の発生防止に係る調査を実施。
- また、他の設備においてネプツニウムの影響による類似事象の発生の可能性についての調査を合わせて実施。
- さらに、腐食環境が厳しくなったことが確認されていることから、全面腐食の観点でもその影響を調査することとし、対象範囲は、腐食環境とみなされる0.2mol/L以上の硝酸溶液に常時接液するステンレス製の機器とし、以下の観点を考慮した類似事象の発生防止に係る調査フローを作成し、予防処置が必要な機器の抽出を行うこととした。

なお、当該濃縮缶と同仕様で既に設置されている長期予備の濃縮缶については、当該濃縮缶と同様に温度上昇抑制の運転管理を行うが、運転する際には、念のための対応として、セル内に人が入って作業が実施できることも踏まえて、より柔軟な設備対応を検討する。

# 類似機器での類似事象の発生防止



1. アクティブ試験における不適合発生推移
2. 分析建屋における微量の放射性物質の体内への取込み  
(2006年5月、6月)
3. ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋における脱硝皿への溶液  
の誤供給 (2007年3月)
4. エンドピース酸洗浄槽におけるバスケットの一部変形 (2007  
年10月)
5. 高レベル廃液濃縮缶内の温度計保護管内への高レベル廃液  
の漏えい (2010年8月)
6. 安全蒸気ボイラ2台の故障 (2011年7月)

## 事象概要

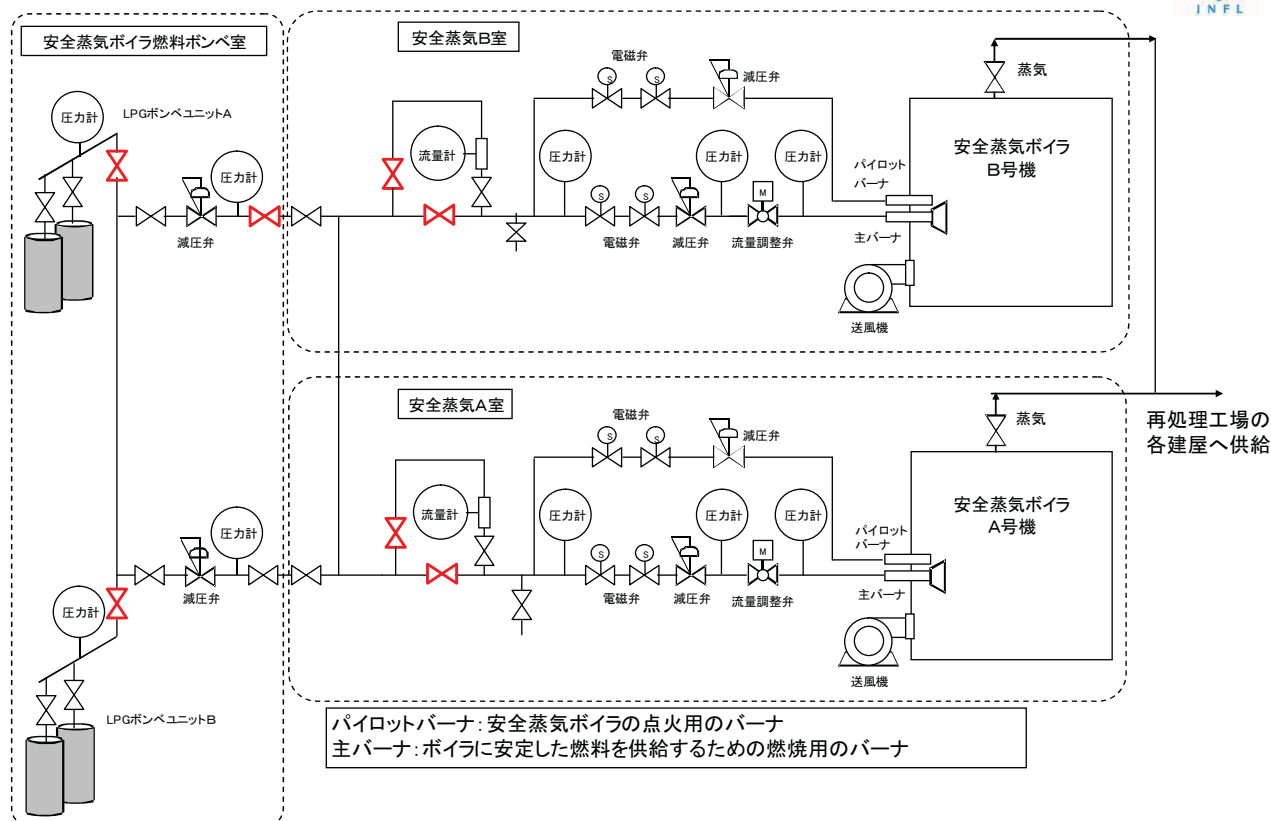
○前処理建屋(管理区域外)において、安全蒸気ボイラA号機の起動作業を行ったところ、同ボイラの故障警報が発報し起動できず、別系統の安全蒸気ボイラB号機の起動作業を行ったが、警報が発報し起動できなかった。

○当該事象を受け、安全蒸気ボイラ2台の故障の可能性があり、「使用済燃料の再処理の事業に関する規則」第19条の16第3号に該当すると判断し、国に報告した。

※安全蒸気ボイラは、使用済燃料の溶解液や高レベル廃液のように崩壊熱により沸騰等のおそれのある漏えい液を安全に回収するための移送機器の駆動源である蒸気を製造するための設備であり、安全上重要な設備であることから多重化として2台が設置されている。

# 事象概要

日本原燃株式会社



55

## 安全蒸気ボイラ2台が不着火となり、2台故障となった直接原因

日本原燃株式会社



- 事象発生前の運転・保守実績、予防保全として前日に実施した手動弁交換作業に係る状況について調査を行い、以下のことを確認した。
  - ・今回の弁交換作業において、安全蒸気ボイラA号機、B号機の2台を同時に動作不能(保守状態)としたこと
  - ・弁交換作業で作業安全の観点から、作業対象配管を隔離した後に配管内に残留している燃料ガスの抜き出しを実施しており、今回交換した弁(上図の赤で示した弁)は、交換することを前提とした設備構成ではなかったことから、ガスを抜く範囲が広がったこと
- 安全蒸気ボイラが不着火になった直接原因について、燃料系での異常、ボイラ本体での異常等の観点で分析を行い、弁交換作業に当たり広い範囲の燃料ガスを抜いたこと、作業後に配管内の空気を燃料ガスに置換していないこと等から、燃料ガス供給配管内に空気が残留し、「ガス濃度不足」になっていたと考える。
- また、安全蒸気ボイラに燃料ガスを供給する配管は、2系統の安全蒸気ボイラに共通的な系統であり、仕切りをするための弁が設置されていなかったことから弁交換作業時は両系統内の燃料ガスがほとんど抜かれた状態となった。このことから、安全蒸気ボイラが2台故障となった直接原因は、燃料ガス供給配管が、安全蒸気ボイラ2系統に対して仕切りをするための弁がない共通的な系統となっていたことであると考え。

56

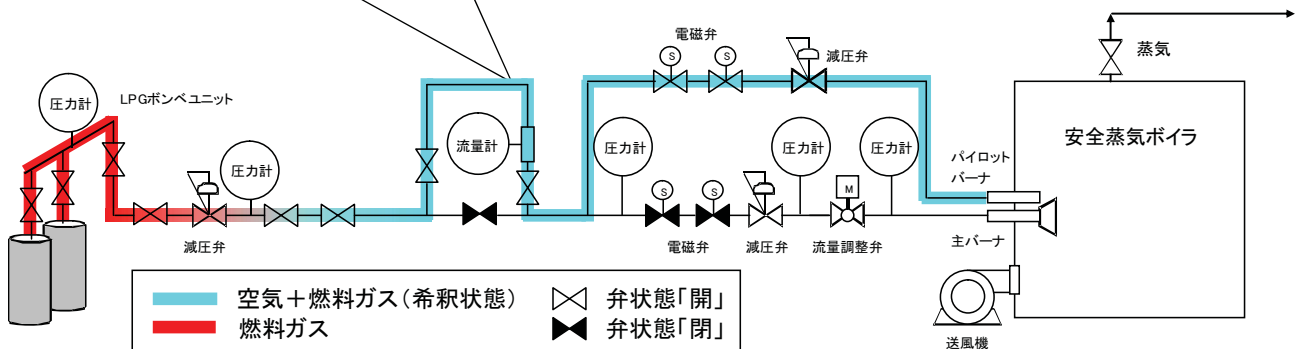


## 安全蒸気ボイラ2台が不着火となり、2台故障となった直接原因

日本原燃株式会社



弁交換作業に当たり広い範囲の燃料ガスを抜いたこと、作業後に配管内の空気を燃料ガスに置換していないこと等から、燃料ガス供給配管内に空気が残留し、「ガス濃度不足」になっていた



57

## 直接原因に対する対策

日本原燃株式会社



### ①弁交換終了時のガス置換の未実施によるガス濃度不足

- ・ 保守作業の最終確認として着火確認を行うこと等の手順を標準施工手順として定める。

### ②両系統の燃料ガス供給配管を接続する配管上への仕切りをするための弁の未設置

- ・ 安全蒸気ボイラ1系統ずつ単独系統で保守できるよう仕切りをするための弁を設置する。

58



# 安全蒸気ボイラ2台が不着火となり、2台故障となった間接原因

日本原燃株式会社



分 類	原 因
①安全上重要な設備の 保守作業に対するリスク 評価不足	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全上重要な設備が2系統動作不能となることを可能な限り避ける必要があるという認識がなかった</li> <li>・保守作業中に安全蒸気ボイラの起動が必要となった場合に2系統とも速やかに起動できないといったリスク等についての評価までは実施できていなかった</li> </ul>
②保守後の設備の引渡し 状態に対する確認不足	<ul style="list-style-type: none"> <li>・これまで保守作業終了後は設備に求められる状態を満足した状態で設備が引き渡されていたという経験等により、保守終了後の設備の状態について確認していなかった</li> </ul>
③隔離範囲の把握不足	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設計図書・現場を確認していなかった等により、弁交換作業時に隔離が必要な範囲が過去の弁交換よりも広いことを把握していなかった</li> </ul>
④作業手順の把握不足	<ul style="list-style-type: none"> <li>・作業方法・作業範囲の検討等を協力会社に任せていたことから作業手順が記載された業務要領書の確認が十分ではなく、作業手順の把握が不足していた</li> </ul>
⑤燃料ガス供給系統の保 修に関する知見・経験及 び工事監理員の役割に 対する理解の不足	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実際は必要なガス濃度が確保されていない状態であったが、配管内の圧力が通常の圧力になったことで運転可能な状態であると考えており、燃料ガス供給系統の保守に関する知見・経験が不足していた</li> <li>・現場経験が浅かったこともあり、現場で確認した作業がその後の運転に対してどのような影響を与えるかについて認識できておらず、工事監理員の役割に対する理解が不足していた</li> </ul>

59

## 間接原因に対する対策

日本原燃株式会社



分 類	対 策
①安全上重要な設備の 保守作業に対するリスク 評価不足	<ul style="list-style-type: none"> <li>・保守時に設備を2系統動作不能状態にすることは極力避けることとし、回避困難な場合には代替措置について必要性・実現性を検討し、その評価結果を保守作業実施計画書に記載することにより、担当部門における審査を行う</li> <li>・また、代替措置が実施できず2系統を動作不能とした保守作業を行う場合に、保守作業中に想定されるリスクを評価し、その評価結果を保守作業実施計画書に記載することにより、担当部門における審査を行う</li> <li>・上記を保守作業実施計画書の作成に関連するルールに記載する</li> </ul>
②保守後の設備の 引渡し状態に対する 確認不足	<ul style="list-style-type: none"> <li>・保守終了後に当該設備が設備に求められる状態になるよう作業方法を検討する。検討結果及び設備に求められる状態となっていることの確認方法について保守作業実施計画書に記載する</li> </ul>
③隔離範囲の把握 不足	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自ら設計図書・現場の確認を行い、作業方法や隔離範囲の検討を行う</li> <li>・この点を含めた業務要領書確認のポイントを記載したチェックシートを新たに作成し運用する</li> </ul>
④作業手順の把握 不足	<ul style="list-style-type: none"> <li>・業務要領書作成に係るマニュアルに従って作成されていること、作業手順・作業内容が適切であることを確認できるよう業務要領書確認のポイントを記載したチェックシートを新たに作成し運用する</li> </ul>
⑤燃料ガス供給系 統の保守に関する 知見・経験及び工事 監理員の役割に対 する理解の不足	<ul style="list-style-type: none"> <li>・以下の点について、教育を実施し、実施結果を確認する <ul style="list-style-type: none"> <li>○安全蒸気ボイラの燃料ガス取扱いに関する注意点等を定めたマニュアル</li> <li>○工事監理員としての役割(特に、現場経験の少ない工事監理員に対しては、指導員が現場において指導を徹底)</li> <li>○作業計画段階におけるリスク評価の重要性や自ら設計図書・現場を確認し作業内容・作業手順の確認を行う必要性</li> </ul> </li> </ul>

60