

※ 管理区域の区分基準

区 分	基 準
グリーン区域	外部放射線に係る線量率が $500 \mu\text{Sv/h}$ 以下であって、通常作業において、空气中的放射性物質の濃度の3月間の平均値及び放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度が、平成12年科学技術庁告示第13号第2条第1項第2号及び第3号に規定される濃度又は密度を超えない区域
イエロ区域	外部放射線に係る線量率が $500 \mu\text{Sv/h}$ 以下であって、通常作業において、空气中的放射性物質の濃度の3月間の平均値及び放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度が、平成12年科学技術庁告示第13号第7条及び第5条に規定される濃度又は密度以下である区域
レッド区域	外部放射線に係る線量率が $500 \mu\text{Sv/h}$ を超えるか、空气中的放射性物質の濃度の3月間の平均値又は放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度が、平成12年科学技術庁告示第13号第7条及び第5条に規定される濃度又は密度を超えるおそれのある区域で、通常作業時に人の立入りを禁止する区域

発生場所

時系列

平成 22 年 7 月 30 日

- 10：00 頃 計装保修課^{*1}員（監理員）の立会いのもと、作業の準備状況を確認
- 14：30 頃 作業員 4 名・放射線管理員 1 名で温度計 3 本の交換作業を開始
- 15：10 頃 1 本目の温度計の引き抜き作業開始
- 15：25 頃 2 本目の温度計の引き抜き作業開始
- 15：40 頃 当該 3 本目の温度計の引き抜き作業開始
- 15：50 温度計の先端部が保護管から出た時点で放射線管理員が持っていたサーベイメータの指示値が上昇
- 16：00 頃 温度計の先端部に汚染の疑いがあると判断し、作業員 A（現場監督者）から計装保修課員（監理員）へ連絡
計装保修課員（監理員）より放射線安全課^{*2}員に汚染確認を依頼
作業員 A（現場監督者）から全員に半面マスク着用指示（本人も着用）
温度計先端部を保護管に戻し、開放部の養生を実施
放射線安全課員が各種放射線管理モニタに異常がないことを確認
- 16：16 放射線安全課員による現場汚染検査開始
- 16：30 頃 作業場所床面の養生シート上に汚染を確認
確認された汚染の除染措置を行ったうえで温度計をビニール袋等で養生し、養生シート上に仮置き
- 16：35 現場汚染検査にて作業員 A（現場監督者）の半面マスクに汚染があることを確認
- 17：00 六ヶ所対応会議^{*3}立ち上げ
- 17：02 第 2 分離ブロック当直長より、分離建屋への入域一部規制の放送を実施
- 17：15 統括当直長^{*4}による分離建屋への立入規制の放送を実施
- 17：18 作業員 A（現場監督者）の身体汚染検査により、表面密度限度^{*5}の 10 分の 1 未満の皮膚汚染を確認
- 17：21～18：46 作業員 A（現場監督者）以外の作業員 3 名、放射線管理員 1 名及び作業場所近傍にいた他の作業に従事していた作業員 2 名の身体に汚染がないことを確認
また、鼻スマヤを採取し、順次、管理区域より退域
- 17：24～19：17 作業員 A（現場監督者）の鼻スマヤを採取し、除染作業を実施
- 17：48～19：26 作業員 A（現場監督者）以外の作業員 3 名、放射線管理員 1 名及び作業場所近傍にいた他の作業に従事していた作業員 2 名にホー

ルボディ測定を実施し、採取した鼻スミヤ及びホールボディの測定結果より内部取り込みがないことを確認

19 : 24～21 : 05 作業員A（現場監督者）を管理区域から退域させ、ホールボディ測定を実施し、採取した鼻スミヤ及びホールボディの測定結果より内部取り込みがないことを確認

22 : 30 頃 放射線測定の結果、作業場所の養生シート上に、表面汚染に係る管理基準値（表面密度限度の10分の1である $\alpha : 0.4 \text{ Bq/cm}^2$ 、 $\beta(\gamma) : 4 \text{ Bq/cm}^2$ ）を超える汚染（最大 $\beta(\gamma) : \text{約} 710 \text{ Bq/cm}^2$ 、 $\alpha : \text{検出限界} (1.7 \times 10^{-2} \text{ Bq/cm}^2)$ 未満）を確認

平成22年7月31日

0 : 47 作業場所の除染作業開始

4 : 00 頃 作業場所の除染作業を終了し、表面汚染に係る管理基準値未満となったことを確認

空間線量率等に異常のないことを確認

4 : 00 六ヶ所対応会議にて、トラブル等対応要領C情報^{*6}③ 2)「床・壁等が保安規定で定める管理区域内の区分基準を超えて汚染したが、簡易な除染で区分基準以下に除染できるとき」に該当すると判断した。

平成22年8月2日

9 : 30 六ヶ所対応会議にてC情報発信

13 : 10 六ヶ所対応会議にて、「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、A情報^{*7}発信

- ※1 再処理施設の計装設備に係る保修等を行う部署
- ※2 再処理施設における放射線管理、出入管理等を行う部署
- ※3 異常事象発生時、工場長を議長とし、副工場長、連絡責任者及び関連部門の部長等により組織される会議体であり、発生した事象の把握、事象の収束及び復旧活動等を統括して実施する
- ※4 再処理施設の運転等を担当する当直業務を統括・管理する責任者
- ※5 放射線管理上定められた物の表面の放射性物質による汚染の上限のこと
- ※6 施設の運転管理情報(プラント情報)及び所内パトロール等によって発見した事象で留意すべきものや注意が必要なもの、軽度の汚染・被ばく等通常とは異なる事象、その他特に通報が必要と思われる事象で、情報入手後、関係箇所へ通報連絡すべきもの

※7 法令報告事象、安全協定に基づく報告事象及び社会的影響が出るおそれのある事象等で、情報入手後、関係箇所へ直ちに通報連絡すべきもの

漏えい事象発生時の作業状況

(1) 事象発生時の状況

平成22年1月の濃縮缶運転時に、濃縮缶に設置されている3本の温度計（上部温度計・中部温度計・下部温度計）のうち上部温度計が他の2本の温度計指示値より1～2℃高めに出る傾向が認められたことから、プロセス変動に起因するものか計器個体差に起因するものかを確認するため、温度計のループ試験を実施した。その結果、当該温度計の計器誤差は許容される範囲であったが、念のため設備点検に合わせ3本とも交換することとした。なお、平成22年7月30日に実施された本作業は、保護管内の温度計を交換する作業であり、作業に伴う汚染の発生はなく、また被ばく線量も低いことを想定していたことから、グリーンハウスの設置は行わずゴム手袋の防護装備で作業を行うこととした。

温度計の引き抜き作業において、最初の1m程度の引き抜き時には、半面マスクを着用し、サーベイメータを用いたスミヤ法による汚染検査を実施しながら行い、汚染がないことが確認できた以降は、その後は半面マスクを外してスミヤ法による汚染検査を継続しながら引き抜いていた。

3本目の下部温度計の引き抜き作業において、先端部が保護管から作業エリア側に出た時点で放射線管理員Aが持っていたサーベイメータの指示値が上昇したことから、引き抜いた温度計の先端部に汚染の疑いがあると判断し、作業員A（現場監督者）から計装保修課員（監理員）へ連絡した。（図1参照）

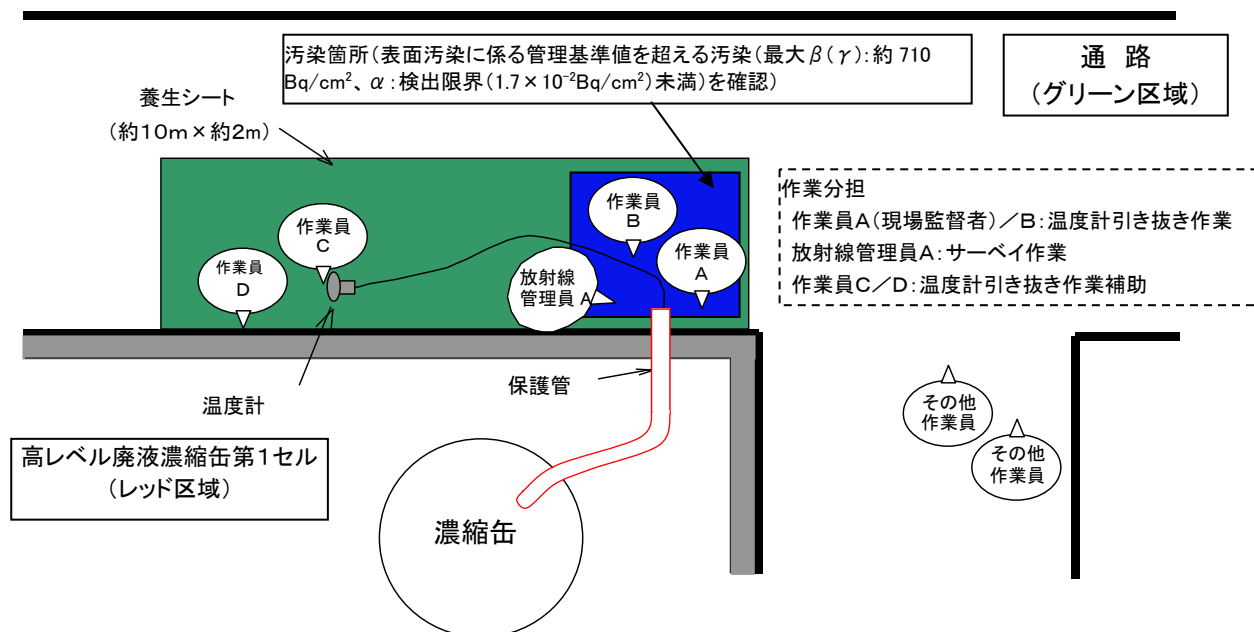


図1 温度計引き抜き作業の状況

引き抜いた温度計の先端部に汚染の疑いがあることから、作業員A（現場監督者）は半面マスクの着用を他の作業員へ指示するとともに、温度計を養生シート上に置き、自身も半面マスクを着用した後、汚染拡大を防止するため当該温度計の先端部を保護管に戻し、開放部の養生を実施した。なお、作業後の汚染検査で作業員Aの半面マスクに汚染が確認されたが、これは半面マスクを着用する際にゴム手袋を交換しなかったために、汚染した可能性が高いと考えられる。

その後、放射線安全課員による現場汚染検査を実施し、作業場所床面の養生シート上に汚染を確認した。確認された汚染の除染措置を行ったうえで、温度計全体をビニール袋とテープで養生し、養生シート上に仮置きした。（図2参照）

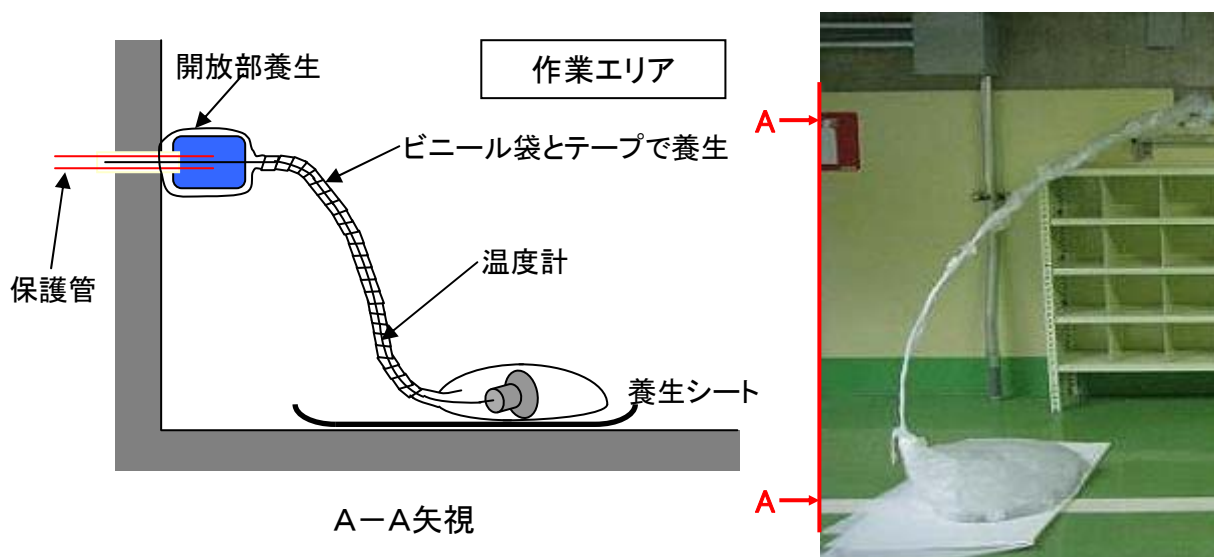


図2 保護管一時処置状況

(2) 作業体制

濃縮缶の温度計3本の交換作業を、作業員4名及び放射線管理員1名にて実施した。なお、本作業における監理員は、作業開始時及び作業完了時に立会いを実施した。

本作業は委託作業であるため、委託先の現場監督者（作業員A）が現場管理を行っていた。

(3) 作業時装備

作業員及び放射線管理員の装備は以下のとおり。

○ 作業員A/B、放射線管理員A

引抜1 mまでの装備：半面マスク・ゴム手袋(2重)

引抜1 m以降の装備：ゴム手袋(2重)

サーベイメータ指示値上昇後：半面マスク・ゴム手袋(2重)

○ 作業員C/D

引抜1 mまでの装備：半面マスク・ゴム手袋(2重)

引抜1 m以降の装備：ゴム手袋

サーベイメータ指示値上昇後：半面マスク・ゴム手袋(2重)

(4) 放射線管理状況

温度計引抜き作業を行っていた養生シート上に、表面汚染に係る管理基準値(表面密度限度の10分の1である $\alpha : 0.4 \text{ Bq/cm}^2$ 、 $\beta(\gamma) : 4 \text{ Bq/cm}^2$)を超える汚染(最大 $\beta(\gamma) : \text{約} 710 \text{ Bq/cm}^2$ 、 $\alpha : \text{検出限界} (1.7 \times 10^{-2} \text{ Bq/cm}^2)$ 未満)を確認した。汚染箇所については除染作業を行い、表面汚染に係る管理基準値未満となったことを確認した。

また、作業員4名、放射線管理員1名及び作業場所近傍にいた他の作業員2名(計7名)については以下のとおり。

○外部被ばく線量

作業員A/B : 0.01 mSv

作業員C/D、その他作業員及び放射線管理員 : 0.00 mSv

○皮膚汚染

作業員Aに、表面密度限度の10分の1($\alpha : 0.4 \text{ Bq/cm}^2$ 、 $\beta(\gamma) : 4 \text{ Bq/cm}^2$)未満の皮膚汚染が確認されたが、除染措置を行った上で管理区域から退域した。作業員B/C/D、その他作業員及び放射線管理員には、皮膚汚染は確認されなかった。

○内部取り込み

鼻スミヤによる内部取り込みの確認を行った上、ホールボディーカウンタによる測定を行った結果、7名に放射性物質の内部取り込みはなかった。

(5) 作業の改善事項

今後、温度計交換作業に伴う汚染の発生に対する対策として、汚染の確認された保護管内に挿入された温度計のように、放射性物質を内包する機器に間接的に挿入されている計器等の交換作業を実施する場合には、作業に伴い汚染が発生する可能性がある作業として、対応方法(グリーンハウス要否、局所排風機の設置要否、作業に対する適切な防護装備の着用、専用治具の開発検討を含む)を検討する。

周辺環境への影響

分離建屋内のダストモニタ、分離建屋内のエリアモニタ、主排気筒モニタ及びモニタリングポストの有意な指示値上昇がなく、本事象による周辺環境へ影響はないことを確認した。(図1～4参照)

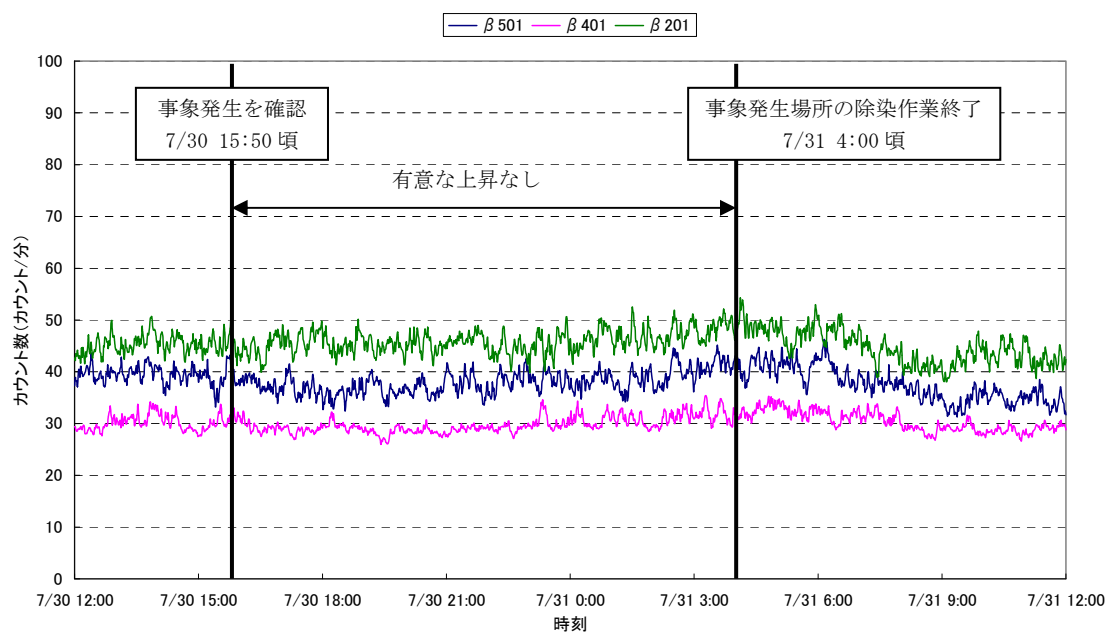


図1 分離建屋内のダストモニタのトレンド

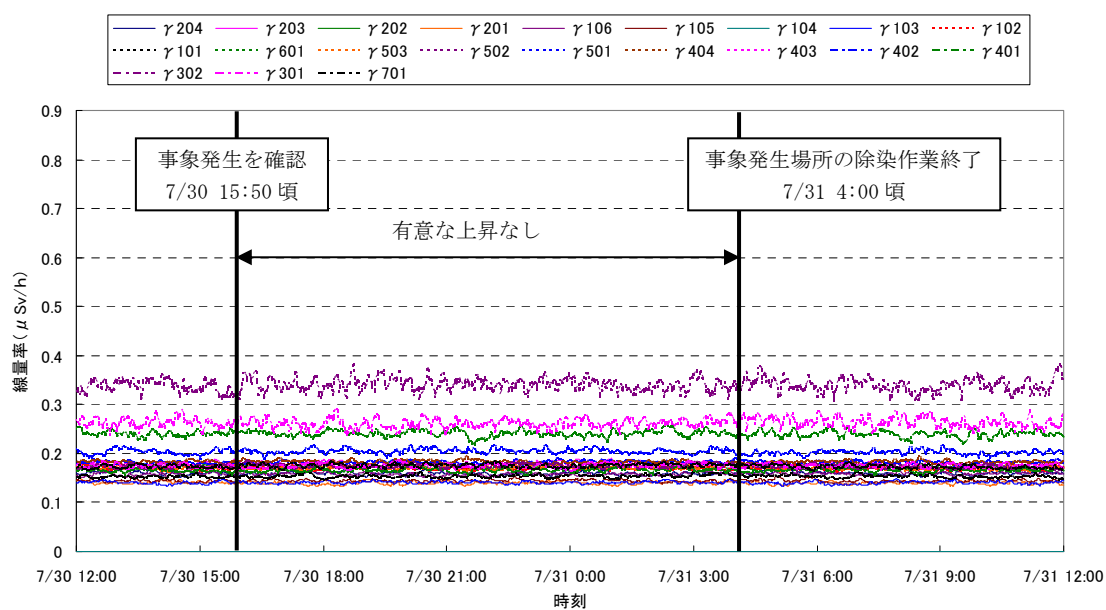


図2 分離建屋内のエリアモニタのトレンド

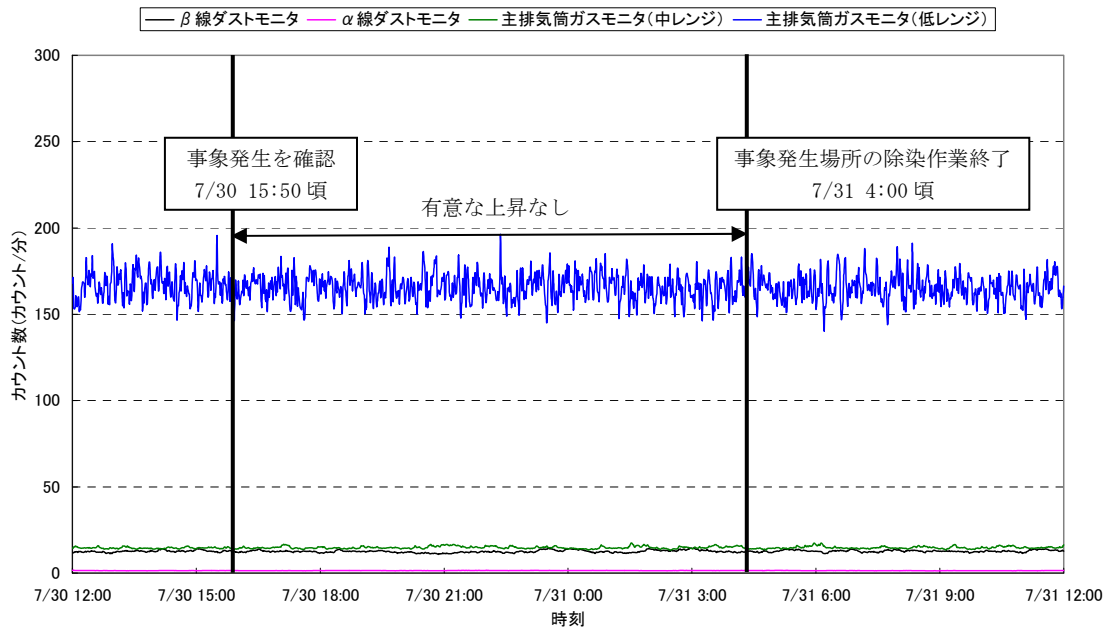
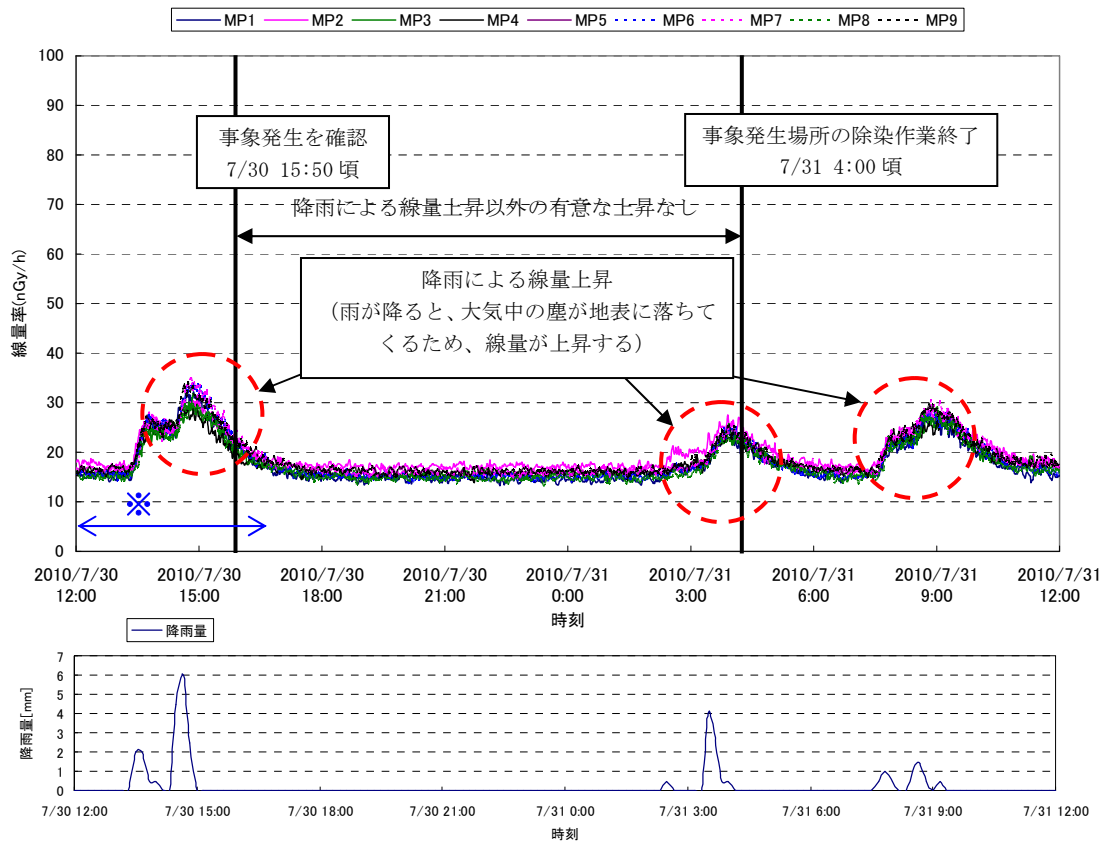


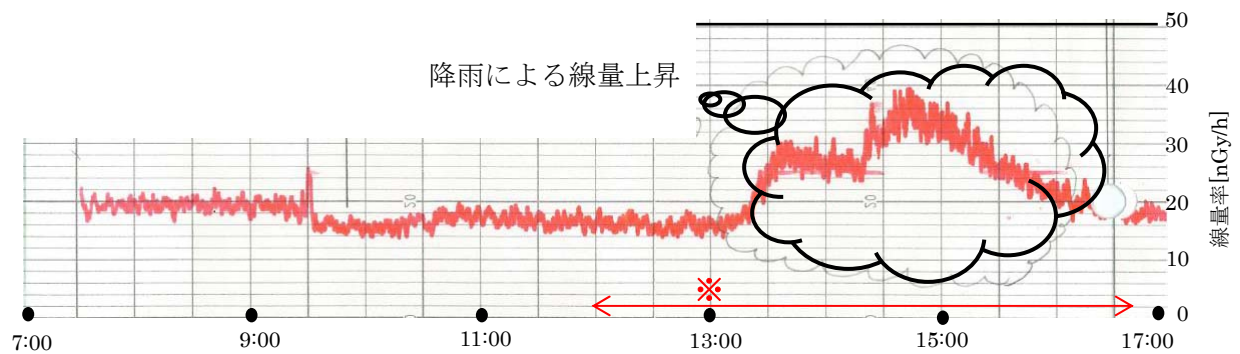
図3 主排気筒のダストモニタ及びガスモニタのトレンド



※ MP5については、定期点検のため平成22年7月30日12:00～16:40の期間、データが欠損しているが、代替措置として仮設の測定器を設置し監視を継続していた。

図4 モニタリングポストのトレンド及び降雨状況

また、モニタリングポスト5 (MP5) の定期点検期間中 (平成22年7月30日 12:00～16:40の期間)、代替措置として設置されていた仮設の測定器のトレンド (図5参照) により指示値に有意な上昇が無かったことを確認した。



※ MP5 のデータ欠損期間

図5 MP5 定期点検時の代替測定トレンド

さらに、再処理工場から発生する気体廃棄物は、最終的に主排気筒から放出されることから、7月21日～8月1日 (7月30日を含む期間) の主排気筒から放出した気体廃棄物の定期サンプリング結果により、通常放出されているトリチウムを除き検出限界濃度未満であり、本事象による放射性気体廃棄物の有意な放出はなかったことを確認した。

温度計付着物の分析結果

濃縮缶は、分離施設の抽出廃液、分析施設の分析廃液、酸回収設備の蒸発缶の濃縮液等を受け入れ、蒸発・濃縮する設備であることから、濃縮缶内液には核分裂生成物や α 線を放出する核種であるアメリカシウムやキュリウム等（以下、「 α 核種」という。）が含まれている。

汚染した温度計付着物のスミヤ測定を実施したところ、表1の濃縮缶内液に含まれている α 核種及び核分裂生成物であるセシウム(Cs)やユーロピウム(Eu)が検出された。また、各核種の組成比率のうち、セシウム(Cs)と α 核種の比率(Cs-137/Total α ※¹)及びセシウム(Cs)の同位体比率(Cs-137/Cs-134)が、漏えい時の濃縮缶内液の放射能濃度の推定値※²から算出した比率と分析結果が、ほぼ一致※³した。このことから、保護管内への漏えい液は高レベル廃液であると判断した。

※1：試料から発生する全 α 放射エネルギーを検出器にて測定した結果。

※2：濃縮缶へ受け入れた廃液のバッチ数98回の供給液の放射能濃度等の分析結果を積算した値を濃縮後の液量で除した値。

なお、半減期の短いCs-134については、半減期補正を行なった。

※3：分析誤差、移送時容量測定誤差等によりばらつきがあるため、これらを考慮して各比率がほぼ一致したと判断した。

なお、漏えい時の濃縮缶内液を高レベル廃液ガラス固化建屋に移送し、そこで採取した分析結果を用いて算出した核種比率（濃縮缶内液移送後の分析結果（ γ 放射能分析）から濃縮缶内液移送前の下流槽保有液の分析結果（ γ 放射能分析）を減じた値より算出）を参考に示す。

表1 放射能測定結果及び核種組成比

	Cs-137	Cs-134	Eu-154	Total α	核種比率	
					Cs-137/Total α	Cs-137/Cs-134
スミヤ測定結果※ ⁴ (Bq/sample)	103	1.70	3.96	3.90	26	61
濃縮缶内液の放射能濃度の推定値※ ⁴ (Bq/cm ³)	1.3×10^9	3.2×10^7	2.1×10^7	7.6×10^7	17	42

※4：Total α 以外は γ 線測定結果による。

〈参考 表〉

	Cs-137	Cs-134	Eu-154	Total α	核種比率	
					Cs-137/Total α	Cs-137/Cs-134
濃縮缶内液移送後の下流槽分析結果からの推定値 (Bq/cm ³)	9.4×10^8	1.8×10^7	1.4×10^7	3.3×10^7	28	52

濃縮缶の設備と運転の概要

濃縮缶は、液体廃棄物の容積を低減するため、分離施設の抽出廃液、分析施設の分析廃液、酸回収設備の蒸発缶の濃縮液等を受け入れ、蒸発・濃縮する設備である。濃縮缶の廃液処理に係る工程の概要を図1に示す。

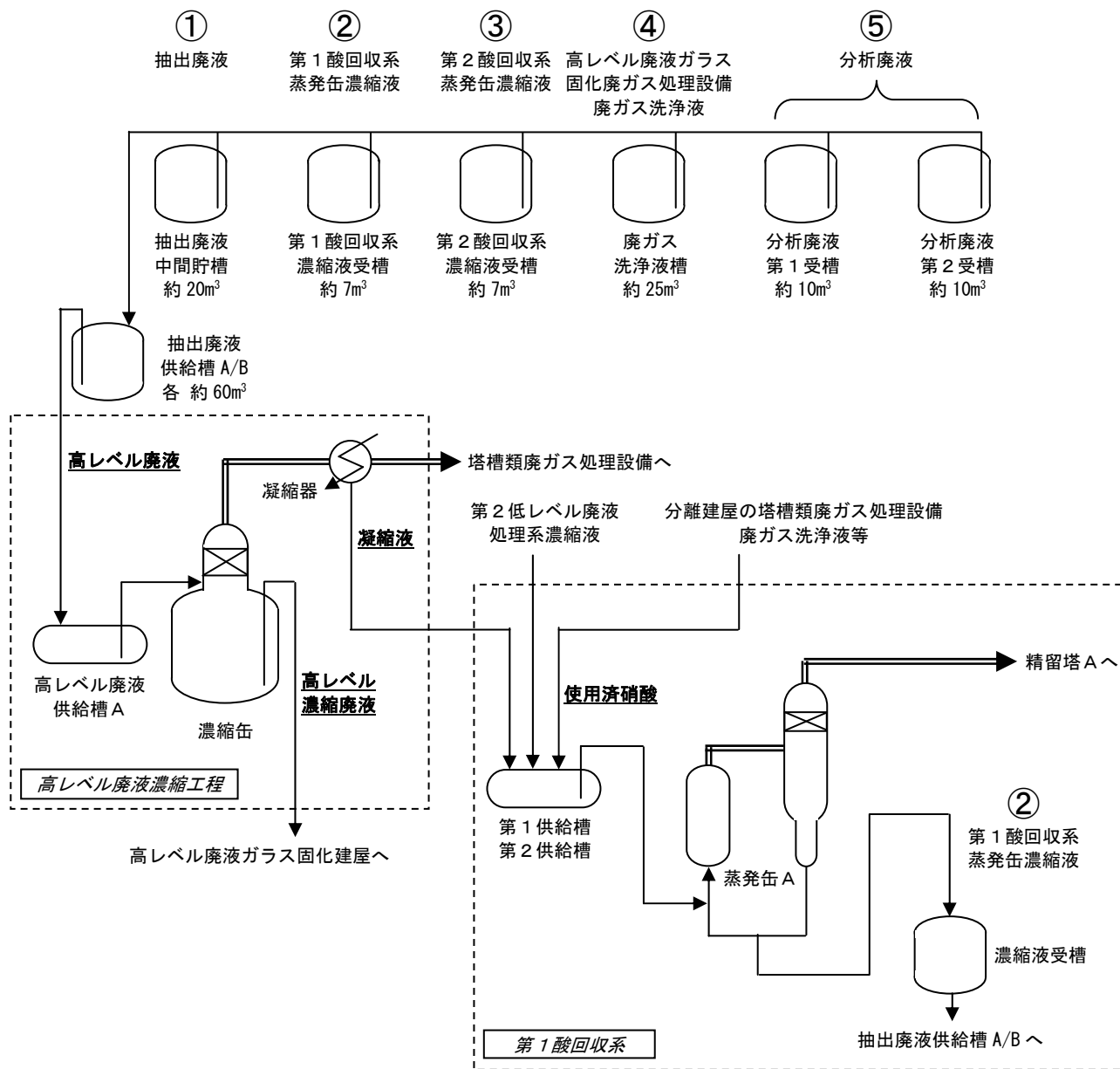


図1 濃縮缶での廃液処理に係る工程概要図

蒸発・濃縮は、約7 kPa（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℃に加熱することで行い、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。濃縮缶の概要を図2に示す。

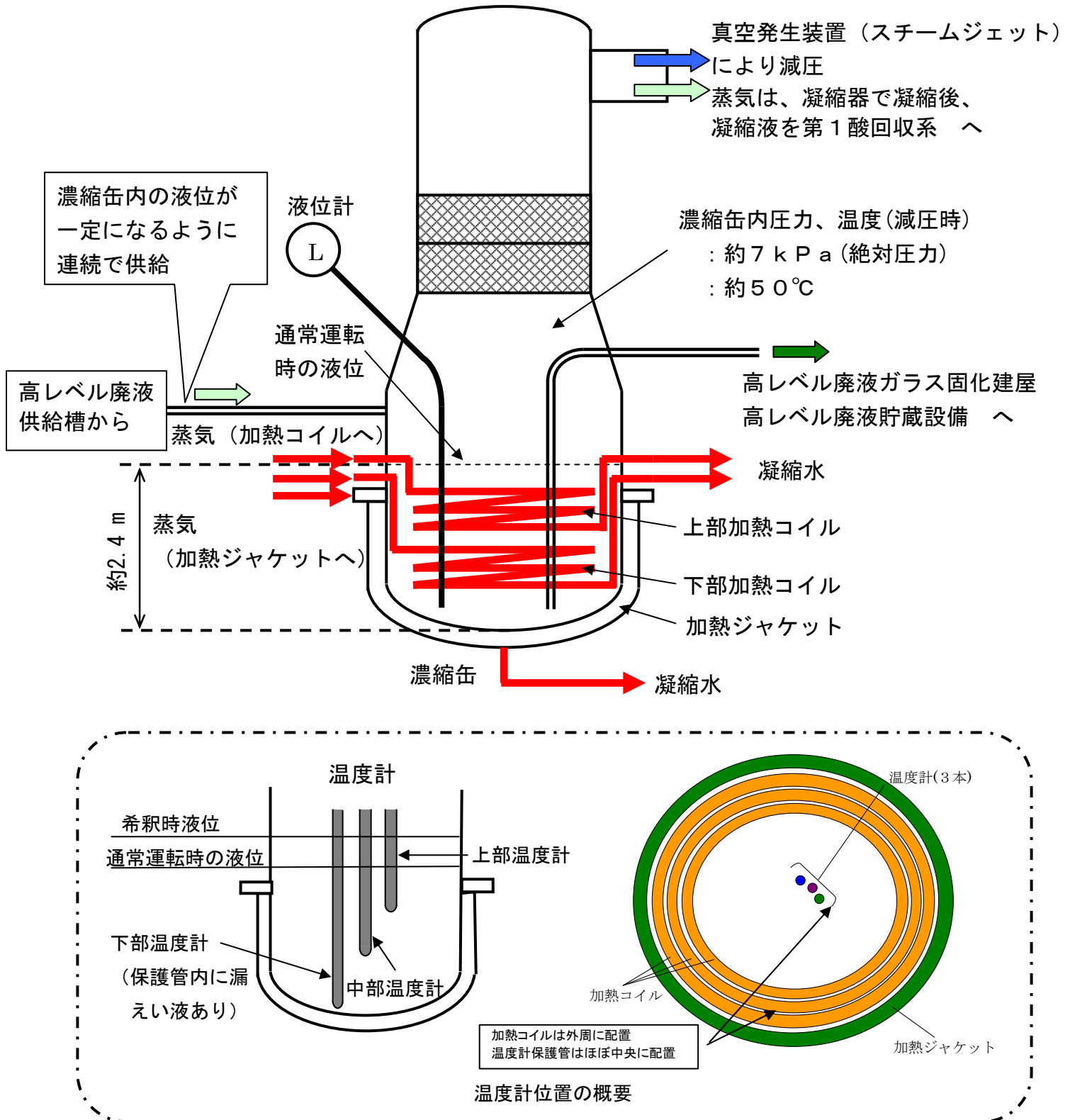


図2 濃縮缶の概要

濃縮缶の蒸発・濃縮運転は、液張り・減圧・濃縮・減酸・冷却・減圧解除^{※1}・希釈・払出しという一連のサイクルを1バッチとし、濃縮の部分では主に抽出廃液中に含まれる核分裂生成物等を□倍程度まで濃縮する。濃縮缶の1バッチサイクルにおける濃縮缶内主要パラメータの挙動を図3に、濃縮缶の1バッチサイクルにおける運転概要を表1に、蒸発・濃縮運転における減圧及び減圧解除の操作概要を図4に示す。

※1：減圧解除とは、濃縮缶を減圧に保つために濃縮缶気相部を排気していた装置を停止すると共に空気を濃縮缶に取り込むことにより、減圧状態であった濃縮缶気相部圧力を塔槽類廃ガス処理設備による負圧状態に戻す操作を指す。減圧解除に要する時間は約10分である。

なお、放射性物質等の濃度が低い廃液（分析廃液、酸回収設備の蒸発缶の濃縮廃液等）を処理する場合には、濃縮液の性状を所定の値とするため、□倍以上の濃縮運転を行う場合がある。

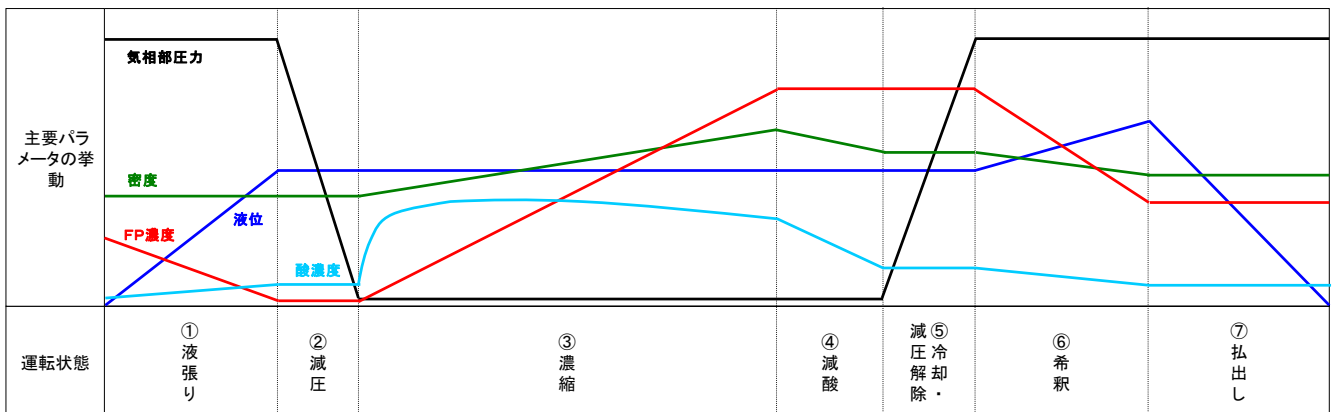
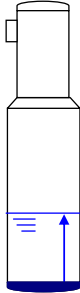
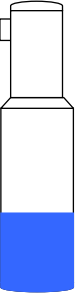

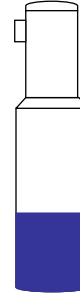
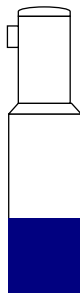

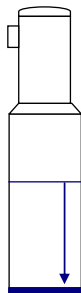


図3 主要パラメータの挙動

表1 濃縮缶の1バッチサイクルにおける運転概要

運転状態	①液張り	②減圧	③濃縮	④減酸
運転概要	供給槽から濃縮缶へ廃液を供給する。	真空発生装置を起動し、濃縮缶内を減圧状態にする。	濃縮缶内液位を制御しながら、供給槽から濃縮缶へ廃液を供給し、濃縮缶で蒸発・濃縮する。	濃縮缶内の液位を制御し、第1酸回収系の凝縮液を供給しながら加熱することにより濃縮液の酸濃度を下げる。
各パラメータの挙動	液位:上昇 気相部圧力:一定 密度:一定 FP濃度:低下 酸濃度:上昇	液位:一定 気相部圧力:低下 密度:一定 FP濃度:一定 酸濃度:一定	液位:一定 気相部圧力:一定 密度:上昇 FP濃度:上昇 酸濃度:上昇後低下	液位:一定 気相部圧力:一定 密度:低下 FP濃度:一定 酸濃度:低下
濃縮缶内の状況(模式図)				
運転状態	⑤冷却・減圧解除	⑥希釈	⑦払出し	
運転概要	加熱を停止し、冷却を開始する(コイルに冷却水を通水)。濃縮缶内の減圧を解除する。	濃縮液に希硝酸を供給し、濃縮液の酸濃度を下げる。	濃縮液を次工程へ払い出す。	
各パラメータの挙動	液位:一定 気相部圧力:上昇 密度:一定 FP濃度:一定 酸濃度:一定	液位:上昇 気相部圧力:一定 密度:低下 FP濃度:低下 酸濃度:低下	液位:低下 気相部圧力:一定 密度:一定 FP濃度:一定 酸濃度:一定	
濃縮缶内の状況(模式図)				

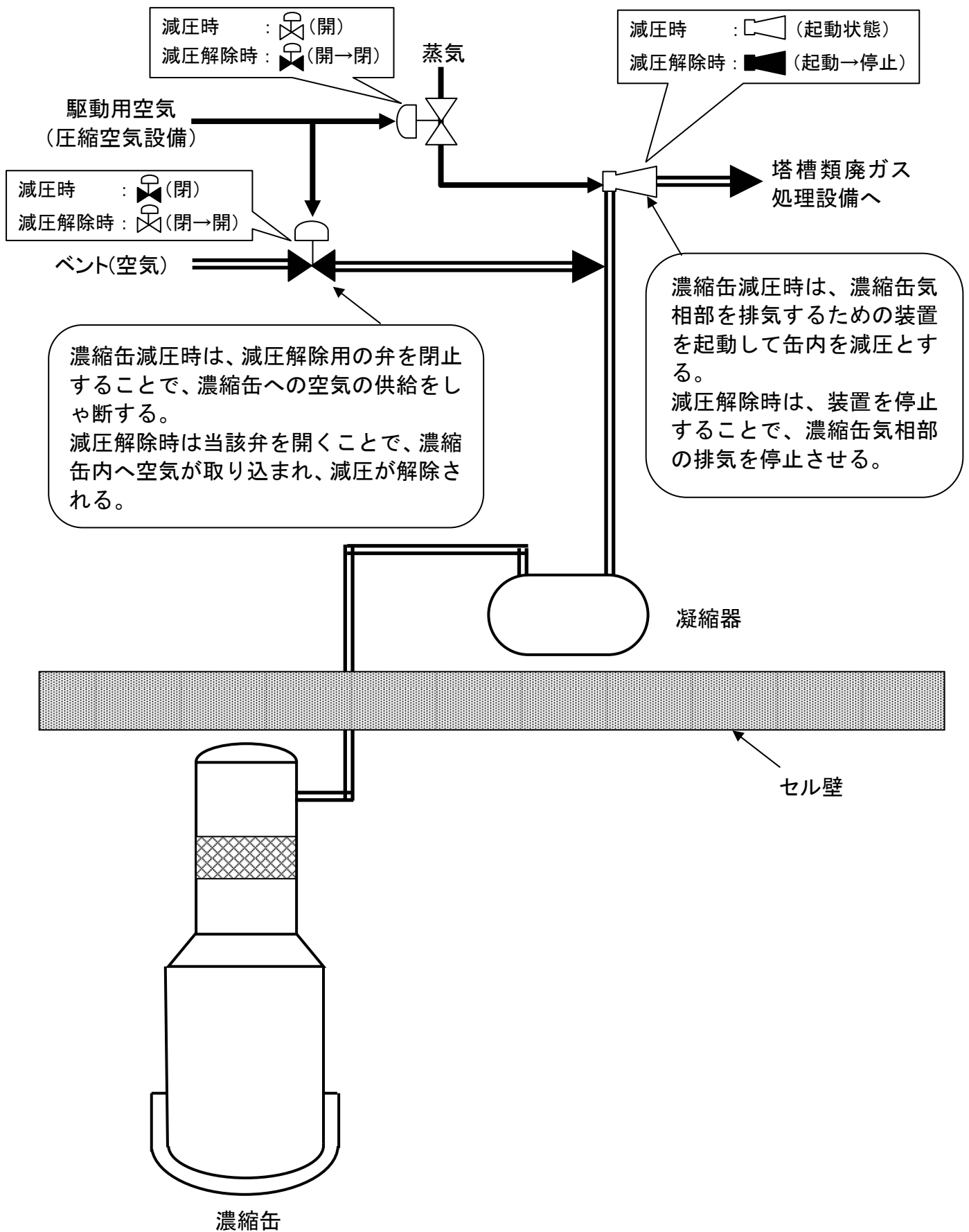


図4 蒸発・濃縮運転における減圧及び減圧解除の操作概要

濃縮缶は、平成14年11月から化学試験において硝酸を使用した試験を行った後、平成18年4月からアクティブ試験において高レベル廃液の処理を行っている。アクティブ試験開始から現在まで10バッチ分の処理運転を行い、その間の処理時間（加熱運転時間）は約1.8年であり、最後の処理運転の終了は約500時間前である。過去1年間の濃縮缶の運転状態（トレンドグラフ）を図5に、化学試験から現在までの加熱運転の実績を表2に示す。

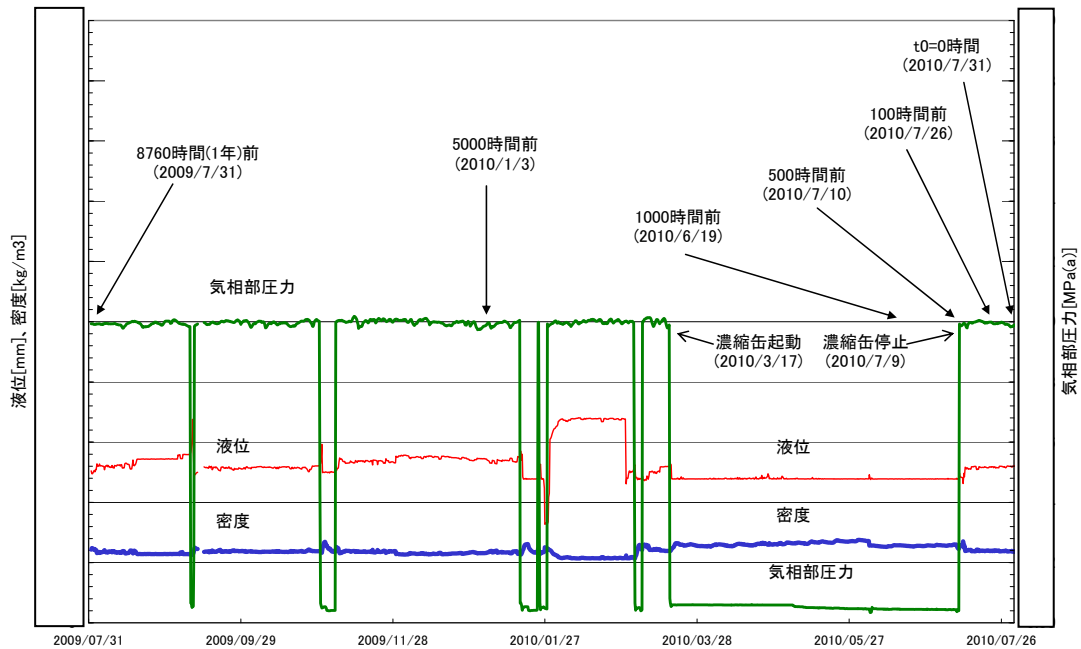


図5 過去1年間の濃縮缶の運転状態（トレンドグラフ）

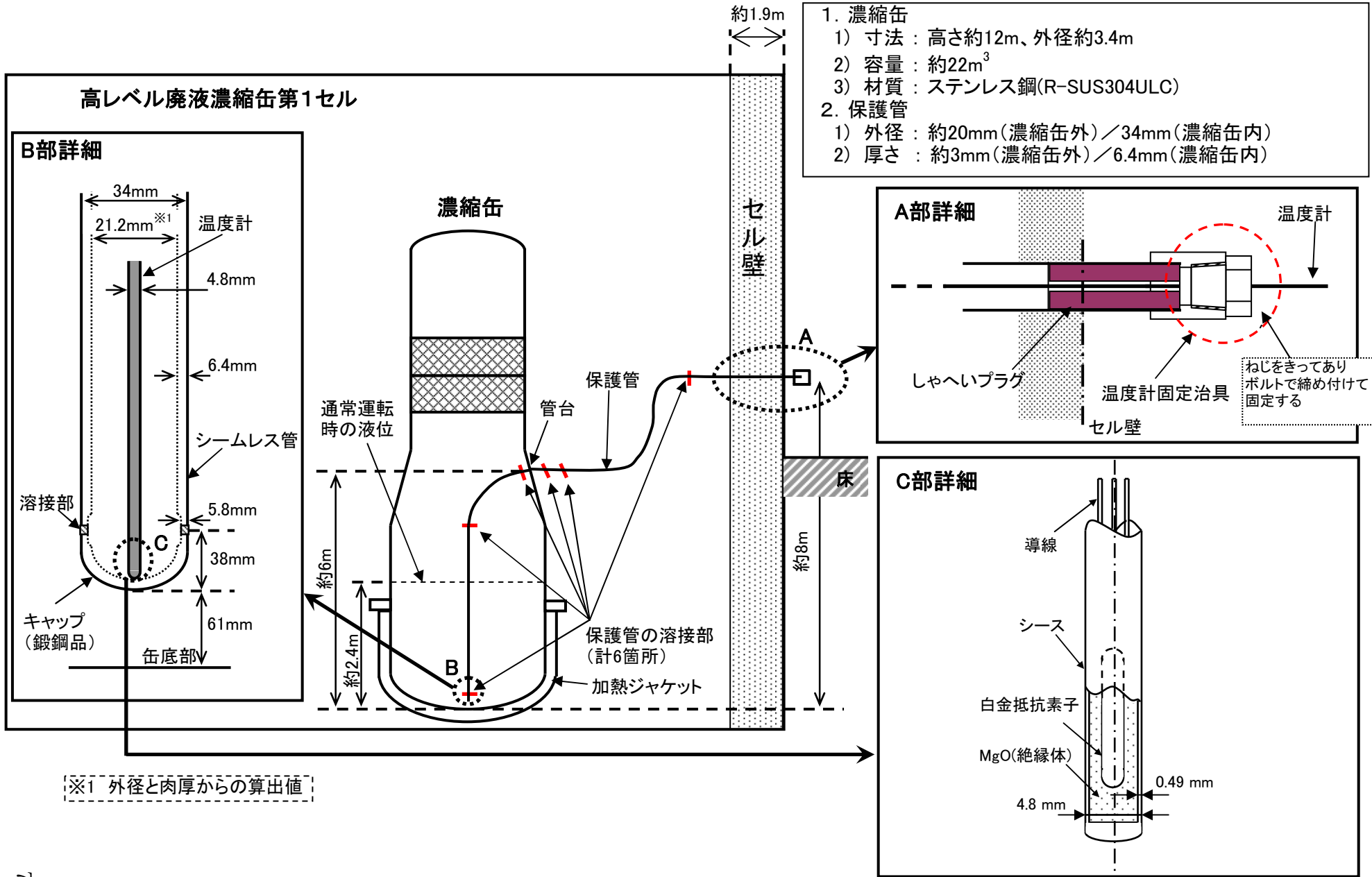
表2 濃縮缶の加熱運転の実績

試験	期間	運転時間(年)	液性状	運転バッチ数
化学試験	平成14年11月～平成15年12月	1.5 ^{※2}	硝酸	— ^{※3}
ウラン試験	平成17年2月～平成17年8月			
アクティブ試験	平成18年4月～平成20年12月	1.4	高レベル廃液	10
	平成21年1月～	0.4	その他廃液	1 ^{※4}

※2 化学試験・ウラン試験ではF Pが無いことから、純硝酸での運転期間として合算した期間とした。

※3 通水作動試験～ウラン試験においては、一連の運転サイクル（液張り～払出し）に従った運転は実施しておらず、バッチ管理を行っていない。

※4 その他廃液の処理運転については、保護管内への漏えいが発見されたため濃縮の途中で払い出した。

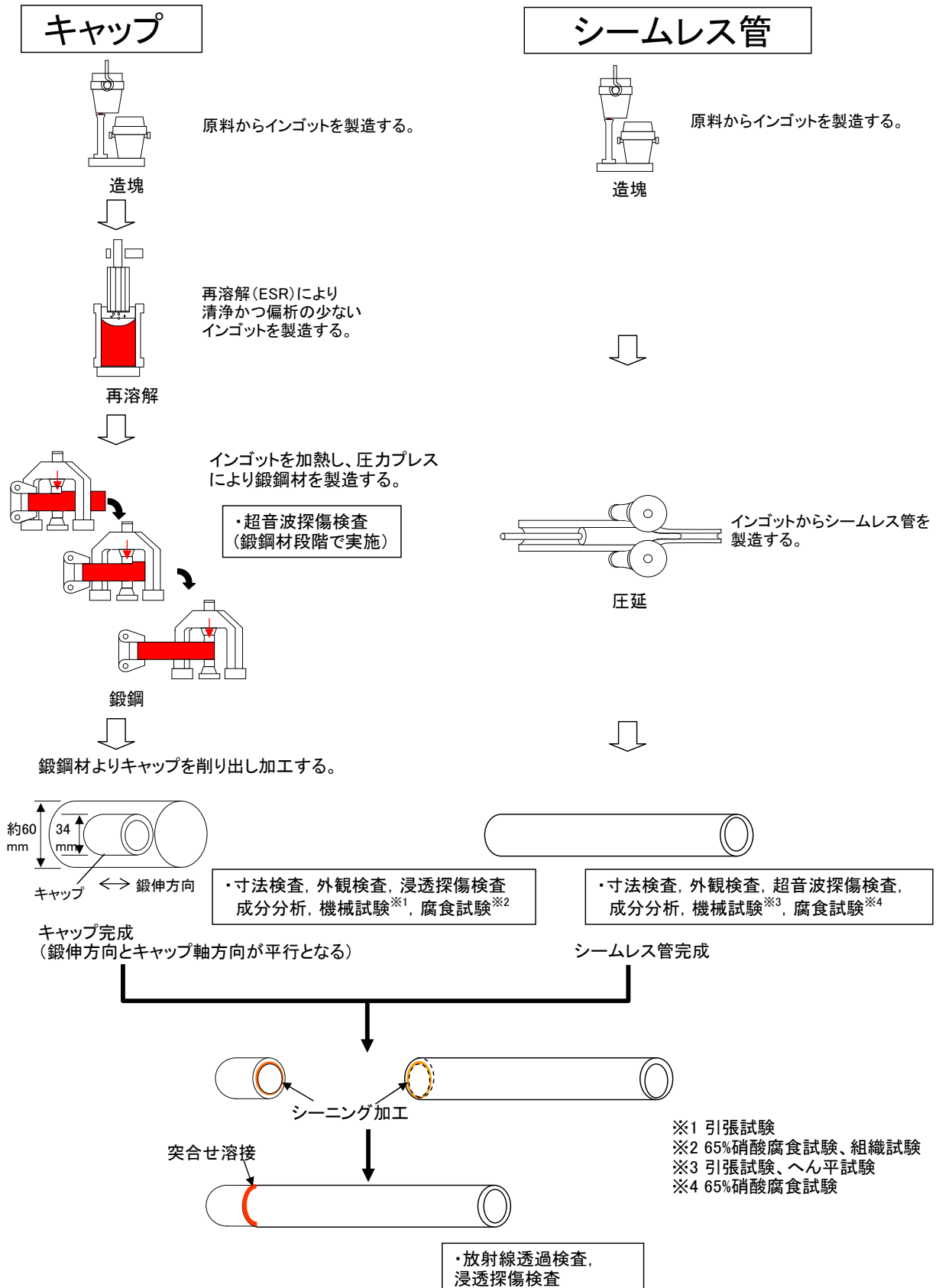


- 濃縮缶
 - 1) 寸法：高さ約12m、外径約3.4m
 - 2) 容量：約22m³
 - 3) 材質：ステンレス鋼(R-SUS304ULC)
- 保護管
 - 1) 外径：約20mm(濃縮缶外)／34mm(濃縮缶内)
 - 2) 厚さ：約3mm(濃縮缶外)／6.4mm(濃縮缶内)

濃縮缶及び保護管設置概要図

保護管製造工程

保護管は、ステンレス鋼 (R-SUS304ULC) のシームレス管に、同じくステンレス鋼 (R-SUS304ULC) をESR処理した鍛鋼品から削り出し加工して作られたキャップを突合せ溶接して製作している。以下に製作工程を図示する。



トンネル腐食の発生条件等について

トンネル腐食とは、鍛造等によって鋼材中の非金属介在物や成分の偏析部（クロム濃度が低い部位やリンの偏析）が繊維状に引き延ばされた材料において、端面が腐食環境にさらされた場合に、その偏析部に沿って選択的に発生する局部腐食のことである。（図1、2参照）

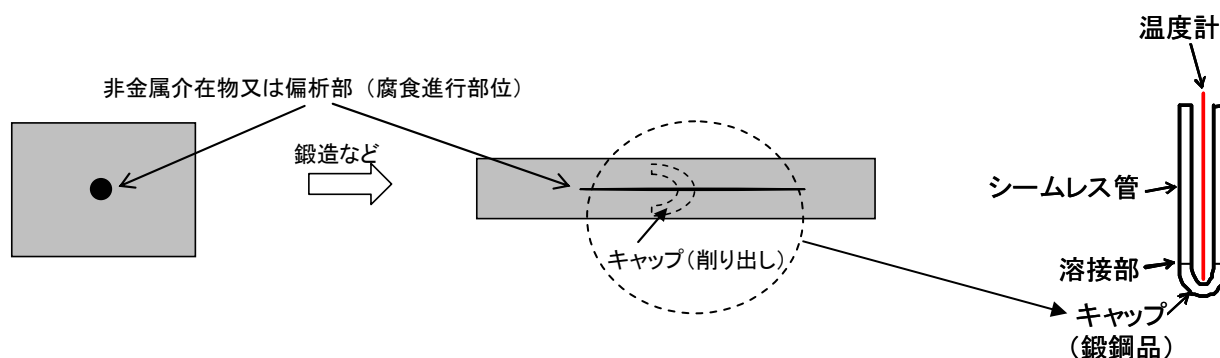
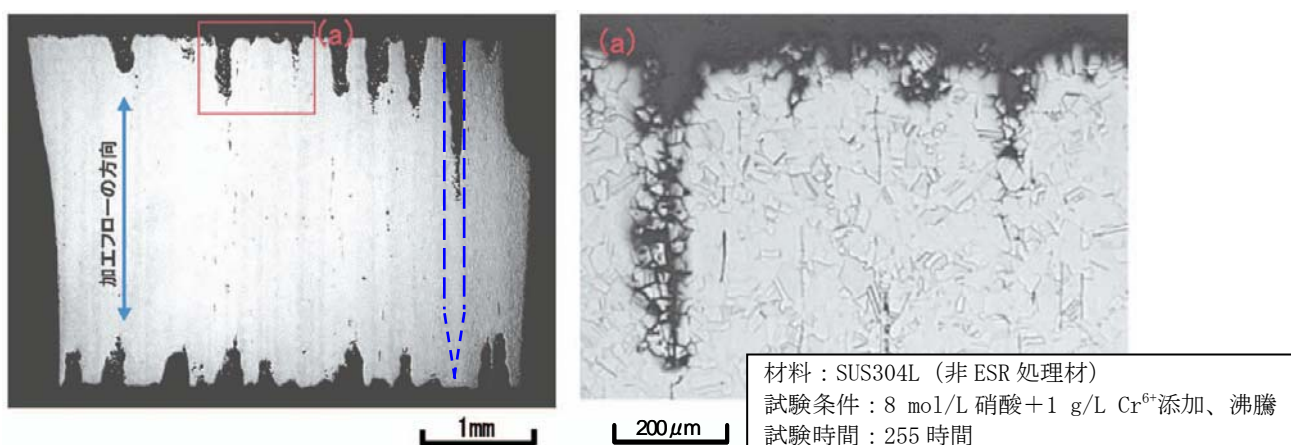


図1 トンネル腐食発生機構の模式図

図2 トンネル腐食事例の断面写真¹⁾

1) 「再処理施設酸回収工程スチームジェットの故障要因調査」（サイクル機構技報 No. 21 2003. 12）

環境面から見た場合に、トンネル腐食は過不動態領域で発生する^{2) 3)}といわれている。これは、不動態領域では安定な酸化皮膜が形成されるため腐食の進行が極めて緩やかなのに対して、過不動態領域では安定な酸化皮膜が形成されず、粒界優先型の全面腐食を経て、非金属介在物や偏析部の箇所（周囲よりクロム濃度が低い部位やリンの偏析を生じている箇所）の腐食が局所的に進行するためと考えられている。また、その腐食速度は全面腐食よりも5～10倍大きいという特徴がある（図3参照）

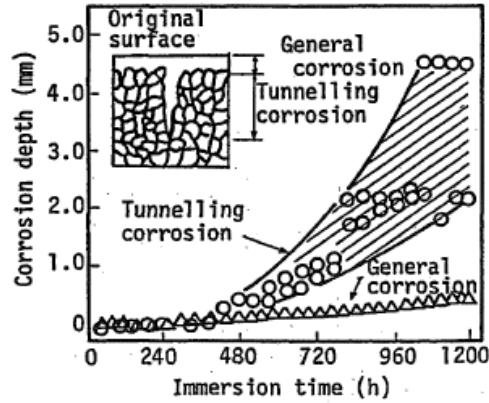


Fig. 1 Dependence of tunnelling corrosion on the immersion time in the boiling solution of $8\text{NH}_4\text{NO}_3 + 0.5\text{g/l Cr}^{6+}$

図3 トンネル腐食と全面腐食の腐食速度の関係⁴⁾

この過不動態域に入るためには環境要因が大きく影響し、環境要因の因子には、溶液温度、硝酸濃度、酸化性イオン、 γ 線照射等が考えられる。それらの因子が相互に作用して、腐食電位が決まり腐食を進展させる。

そのため、トンネル腐食は過不動態領域での腐食を評価するコリオ試験^{*1}を用いて確認されてきた。特段 ESR 等のトンネル腐食対策を施さない鍛鋼品（材料側の発生要因はある）について、コリオ試験でトンネル腐食が発生したものでも、不動態領域から過不動態への遷移領域の腐食を評価する 65%硝酸腐食試験では発生していない²⁾ことが、実験的にも確認されている。

環境要因		材料要因	トンネル腐食の有無
試験方法	電位	試験片	
コリオ試験	過不動態	ESR なし	あり
65%硝酸腐食試験	不動態～遷移領域	ESR なし	なし

コリオ試験と 65%硝酸腐食試験の領域を分極曲線^{*2}上に表わしたものを図4に示す。

※1： Cr^{6+} が共存する沸騰硝酸に試験片を浸漬し、粒界腐食の状況を確認する試験。

※2：金属材料を溶液中に浸漬した結果、溶液と金属の間に生じる電位差を専用の装置を用いて上昇させていくと、電位に応じた電流密度が得られる。それをプロットしたものが分極曲線であり、硝酸環境中においては鋼種により固有の曲線となる。

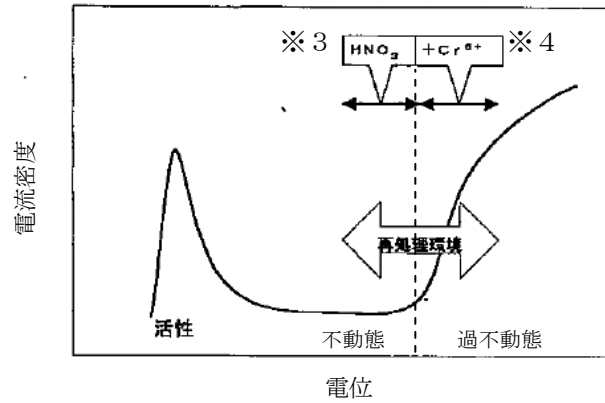


図4 ステンレス鋼の分極曲線上における再処理の腐食環境模式図

※3 65%硝酸腐食試験

※4 コリオ試験条件 (8mol/L 硝酸 + 1g/L Cr⁶⁺)

出典) 再処理施設用高純度ステンレス鋼の耐食性について (大太平洋金属技報)

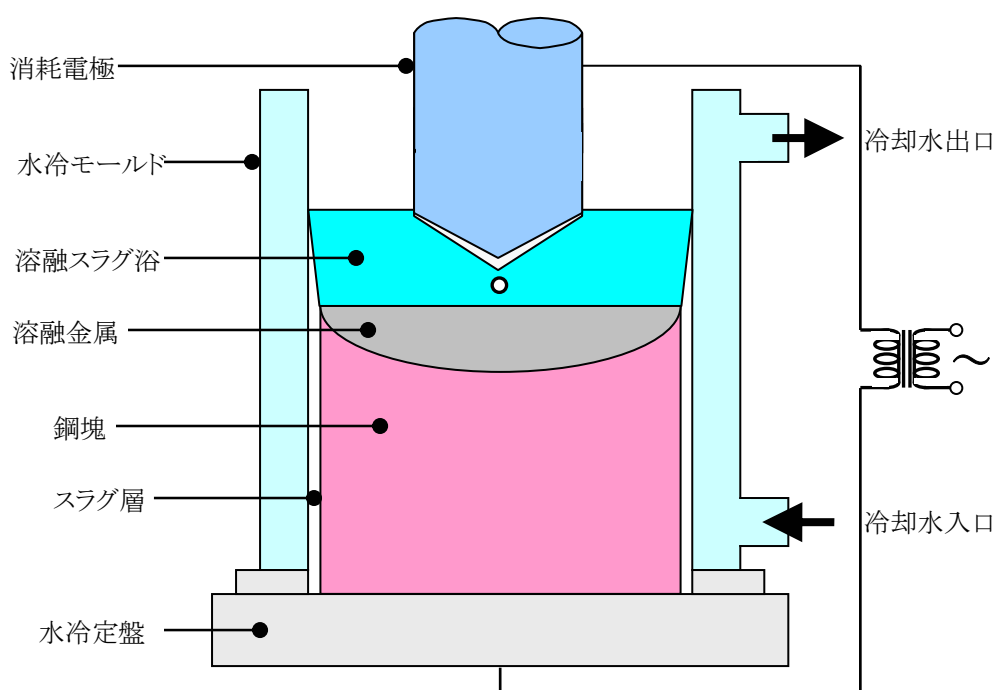
- 2) ステンレス鋼の加工フロー腐食機構の解明と防止対策の確立, CAMP-ISIJ, Vol. 3(1990)-811
- 3) 再処理施設用高純度ステンレス鋼の耐食性について, 大太平洋製鋼技報, No. 1(1997)
- 4) 長野 他, 高酸化性硝酸中におけるステンレス鋼の腐食形態と耐食性, Society of Materials Science, 51th, (1988), 196

E S R 処理の概要

E S R (Electro Slag Re-melting) 法は、1次溶解で得られた鋼塊を消耗電極とし、 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である。

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。

E S R の概要図について下図に示す。



E S R 概要図

当社及び機器メーカーにおいて、キャップ部に使用している材料について E S R 処理がなされたものであることを、材料試験成績表により確認した。

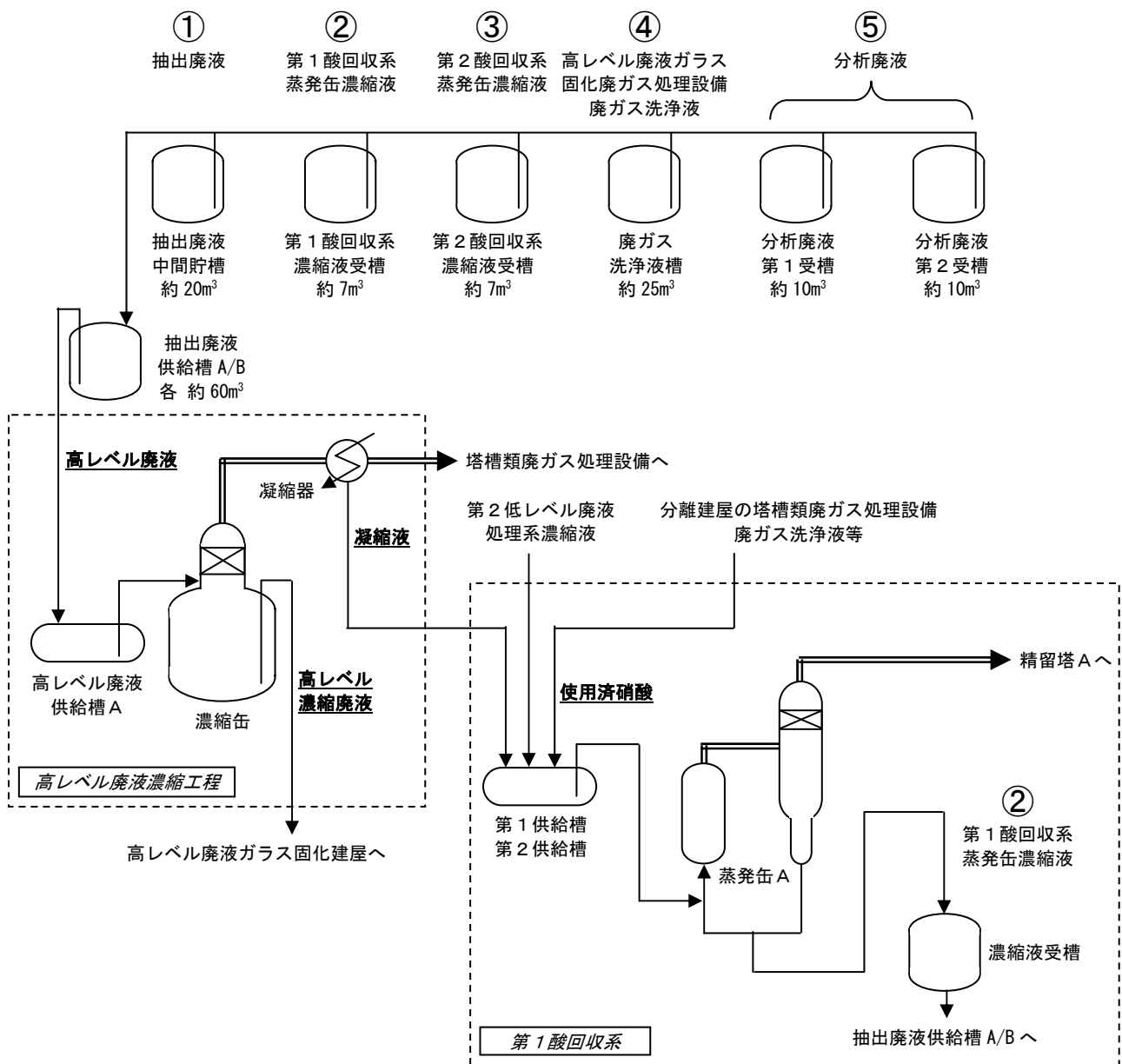
なお、製鋼メーカーにおいては、消耗電極の重量変化から算出される消耗電極の溶解速度（消耗電極の降下速度）を測定しながら電圧、電流、冷却水量を制御することにより安定な溶解速度を管理するとともに、E S R 鋼塊の凝固速度を一定に保つことにより製品の品質を確保している。

廃液量低減対策の概要

1. はじめに

濃縮缶で処理する高レベル廃液（ここでいう高レベル廃液とは下図①～⑤から受入れる廃液を意味する）は、放射性物質等の濃度が高いため、他の設備での代替処理が困難であり、設備が復旧するまでの間は、発生した廃液の処理が行えないため、貯槽で貯留する必要がある。しかしながら、貯留できる貯槽の容量に限度があることから、廃液発生量の低減対策を講じることとした。

濃縮缶での廃液処理に係る工程概要図を図－1に示す。



図－1 濃縮缶での廃液処理に係る工程概要図

2. 高レベル廃液の概要

1. に示す高レベル廃液について、概要をそれぞれ以下に示す。

① 抽出廃液

分離・分配設備で抽出処理を行うことで発生する。

分離・分配設備の運転時には、処理量に比例した量の抽出廃液が発生するが、分離・分配設備が運転停止中の場合、抽出廃液は発生しない。

② 第1酸回収系蒸発缶 濃縮液

濃縮缶から発生する凝縮液、第2低レベル廃液処理系から発生する濃縮液、分離建屋の塔槽類廃ガス処理設備（以下「VOG」という。）廃ガス洗浄廃液等を、第1酸回収系蒸発缶で処理することで発生する。

濃縮缶が運転停止中の場合、凝縮液は発生しないが、第2低レベル廃液処理系からの濃縮液、分離建屋のVOG廃ガス洗浄廃液等は常時発生するため、第1酸回収系蒸発缶からの濃縮液は定常的に発生する。

③ 第2酸回収系蒸発缶 濃縮液

ウラン精製設備及びプルトニウム精製設備から発生する抽出廃液及びVOG廃ガス洗浄廃液を、第2酸回収系蒸発缶で処理することで発生する。

ウラン精製設備及びプルトニウム精製設備が運転停止中の場合、抽出廃液は発生しないが、VOG廃ガス洗浄廃液は常時発生するため、第2酸回収系蒸発缶からの濃縮液は定常的に発生する。

④ 高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備（以下「MOG」という。）廃ガス洗浄廃液

ガラス溶融炉の運転に伴い起動するMOGから発生する。

ガラス溶融炉の運転停止中はMOGも停止するため、MOG廃ガス洗浄廃液は発生しなくなる。

⑤ 分析廃液

工程管理及び計量管理のために各工程のサンプリングポイントから試料を採取・分析することで、分析廃液が発生する。

各工程が運転停止中の場合は、試料の採取・分析の頻度が減るため、分析廃液の発生量は減少する。

3. 具体的対策

現在、分離・分配設備、濃縮缶、ウラン精製設備、プルトニウム精製設備及びガラス溶融炉は運転を停止していることから、抽出廃液供給槽A/Bに受け入れる高レベル廃液は、

- ・第2低レベル廃液濃縮系から発生する濃縮液及び分離建屋のVOG廃ガス洗浄廃液等を第1酸回収系蒸発缶で処理することで発生する濃縮液（2. ②）
- ・ウラン精製設備及びプルトニウム精製設備から発生するVOG廃ガス洗浄廃液を第2酸回収系蒸発缶で処理することで発生する濃縮液（2. ③）
- ・分析廃液（2. ⑤）

である。

これらの高レベル廃液に対して、以下の具体的対策を行い、抽出廃液供給槽A/Bに貯留する廃液量を低減している。

（1）第1酸回収系蒸発缶に移送する廃液の一部を低レベル廃液処理設備へ移送

これまで第1酸回収系蒸発缶に移送していた、第2低レベル廃液処理系の濃縮液及び分離建屋のVOG廃ガス洗浄廃液を、移送前の分析により低レベル廃液処理設備における受入基準^{※1}を満足していることを確認したうえで、低レベル廃液処理設備へ移送することにより、第1酸回収系の濃縮液の低減を行っている。

【低減対策が可能な理由】

分離・分配設備等の上流工程停止中は、VOGに移行する放射性物質濃度が低減され、VOG廃ガス洗浄廃液を低レベル廃液処理設備に移送することが可能となる。

※1：低レベル廃液処理設備の貯槽の受入れ基準には、放射性物質濃度、Pu濃度、pH等に上限を設けている。そのため、これらの濃度の受入基準を満足すれば低レベル廃液の貯槽に送液が可能となる。

（2）第2酸回収系蒸発缶の濃縮液の再蒸発処理による発生量低減

これまで高レベル廃液として移送していた第2酸回収系の濃縮液を、供給槽に戻し再度蒸発処理することにより、第2酸回収系の濃縮液の低減を行っている。

【低減対策が可能な理由】

現在停止中のウラン精製設備及びプルトニウム精製設備からは抽出廃液が発生しないため、第2酸回収系蒸発缶では放射性物質濃度が低いV O G 廃ガス洗浄廃液のみを処理している。その結果、第2酸回収系蒸発缶の濃縮液の放射性物質濃度が低減され、供給槽の受入基準の範囲に収まるため再度蒸発処理が可能となる。

なお、この処理は濃縮液の成分分析を行い、第2酸回収系の供給槽の受入基準を満足する場合にのみ実施し、放射性物質濃度が受入基準を満足していない濃縮液は、通常通り高レベル廃液濃縮工程に移送する運用としている。

(3) 分析廃液のうち放射性物質濃度の低い廃液を低レベル廃液処理設備へ移送

今まで高レベル廃液濃縮工程へ移送していた分析廃液を放射性物質濃度の高い分析廃液と低い分析廃液に分け、放射性物質濃度の低い廃液を低レベル廃液処理設備へ移送することにより、高レベル廃液の低減を行っている。

【低減対策が可能な理由】

分析廃液は、放射性物質濃度に関わらず分析試料を採取した設備に於いて高レベル廃液として分類していたが、実際は放射性物質濃度の低い廃液も含まれているため、分析廃液のうち、低レベル廃液処理設備の受入基準に照らし合わせて放射性物質濃度が基準以内である分析廃液を他の分析廃液と分類することで、低レベル廃液処理設備への移送が可能となる。

(4) 分析廃液の移送に伴い添加する試薬量を低減

高レベル廃液濃縮工程に移送する分析廃液は、化学成分の組成が受入基準を超える場合があるため、受入基準を満足するように試薬を用いて、希釈及び酸濃度調整を実施したうえで移送していた。

この試薬による希釈量を低減することで分析廃液の移送量を低減している。

【低減対策が可能な理由】

上記(3)の対策を実施した結果、放射性物質濃度以外の化学成分の項目は高レベル廃液濃縮工程への受入基準を概ね満足できるようになり、試薬による調整がほぼ必要なくなった。その結果、添加する試薬量が低減し、高レベル廃液濃縮工程に移送する分析廃液の移送量が低減されている。

各対策で低減できる廃液発生量を表－１に示す。

表－１ 高レベル廃液濃縮工程への廃液発生量

低減対策	廃液の種類					合計
	① 抽出廃液	② 第1酸回収系 蒸発缶濃縮液	③ 第2酸回収系 蒸発缶濃縮液	④ 高レベル廃液 ガラス固化 廃ガス処理設備 廃ガス洗浄液	⑤ 分析廃液	
廃液発生量(低減前)	0m ³	約 5.3m ³ /1ヶ月	約 4m ³ /1ヶ月	0m ³	約 40m ³ /1ヶ月	約 49.3m ³ /1ヶ月
(1)VOG 廃ガス洗浄廃液等を低レベル廃液処理設備へ移送	—	約 3.3m ³ /1ヶ月	—	—	—	
(2)第2酸回収系濃縮液を再蒸発処理	—	—	約 1 m ³ /1ヶ月	—	—	
(3)分析廃液を低レベル廃液処理設備へ一部移送 (4)分析廃液への試薬添加量低減	—	—	—	—	約 8m ³ /1ヶ月	
廃液発生量(低減後)	0m ³	約 3.3m ³ /1ヶ月	約 1 m ³ /1ヶ月	0m ³	約 8m ³ /1ヶ月	約 12.3m ³ /1ヶ月

廃液の種類欄に記載の①～⑤については、図－１中の①～⑤と対応する。

(2)の対策により低減できる廃液量は、過去の実績から工程停止中の第2酸回収系蒸発缶への供給液の放射性物質濃度を推定し、再度処理できる回数から算出している。

(3)の対策により低減できる廃液量は、廃液受槽での分析の結果、低レベル廃液処理設備の受入基準より放射性物質濃度が高い場合には、その廃液の影響でそれ以降の分析廃液の放射性物質濃度が高くなることを避けるため、廃液受槽の洗浄を実施することがあり、この洗浄量も評価して算出している。

4. 対策の効果

廃液量低減対策前では1ヶ月に約49m³の廃液が発生するのに対し、廃液量低減対策を講じることにより、1ヶ月に約12m³の廃液発生量となる。

抽出廃液供給槽A/B貯留廃液量の廃液低減対策実施前の計画量並びに廃液量低減対策実施後の実績及び計画量を図-2に示す。図より見られるように、廃液量低減対策を図ることにより、抽出廃液供給槽の容量に対して突発的な事故対応等を考慮した管理値^{※2}に達する時期は、平成22年10月31日の実績に基づく計画では平成23年2月下旬頃であったが、実際の廃液発生量が計画値よりも少なかったことから、平成23年1月13日までの実績に基づき再評価したところ、平成23年4月中旬頃まで延長することができる見通しである。これからも、発生量の低減は継続して実施する。また、各廃液発生元における抽出廃液供給槽A/Bへの移送量の廃液量低減対策の計画と実績を図-3に示す。

※2：受け入れ容量を1割減した108m³を管理値として定めた

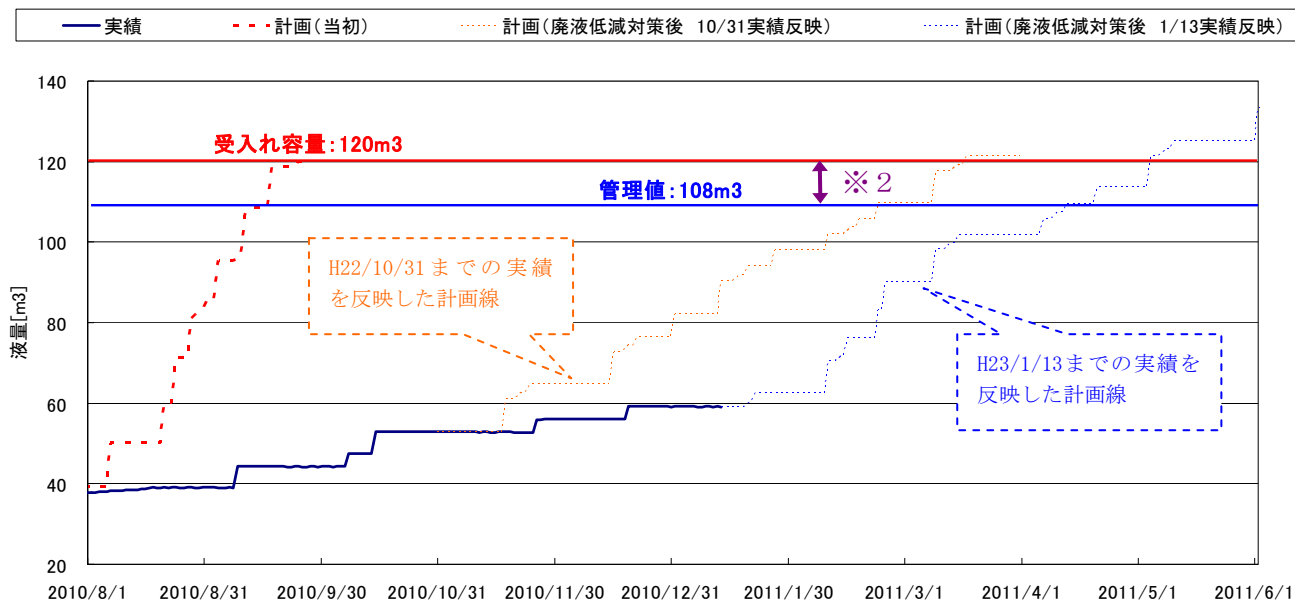
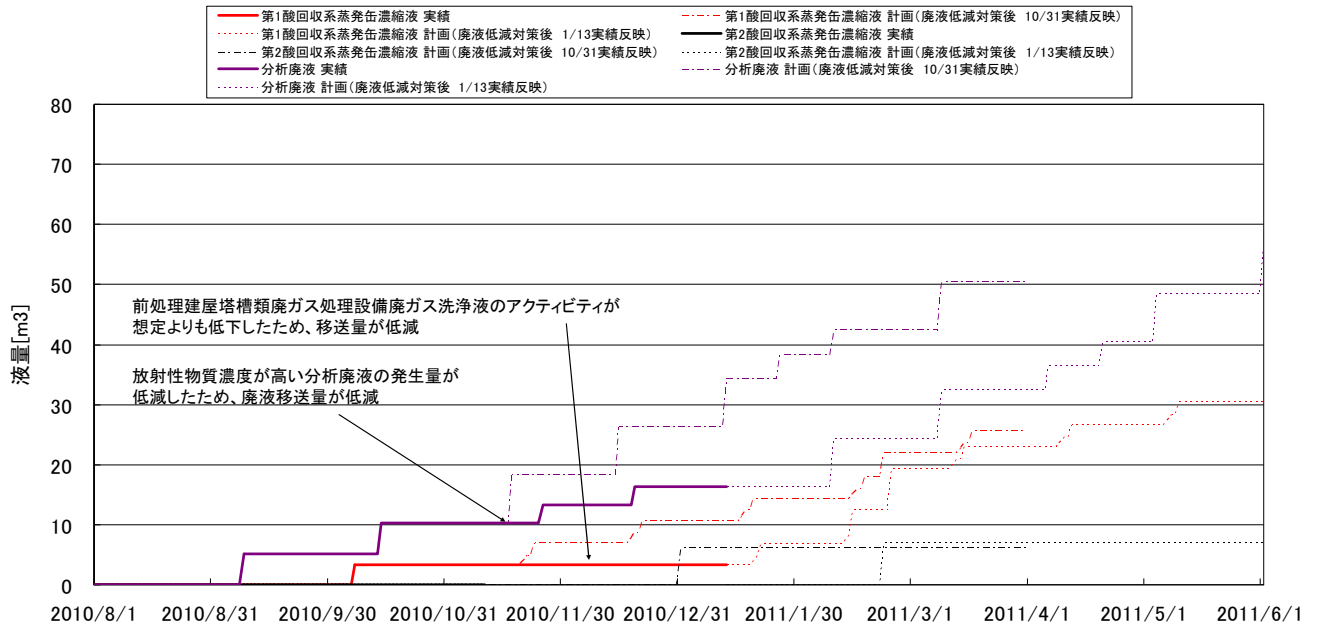


図-2 抽出廃液供給槽A/B 廃液貯留量



図－3 各廃液発生元における低減対策の計画と実績

5. 廃液発生元の移送実績

抽出廃液供給槽A/Bに移送した実績を図－4に示す。

このうち、第1及び第2酸回収系蒸発缶濃縮液の発生頻度は各蒸発缶の処理状況によることから、廃液処理の状況を示す供給槽の液量を図－5に示す。

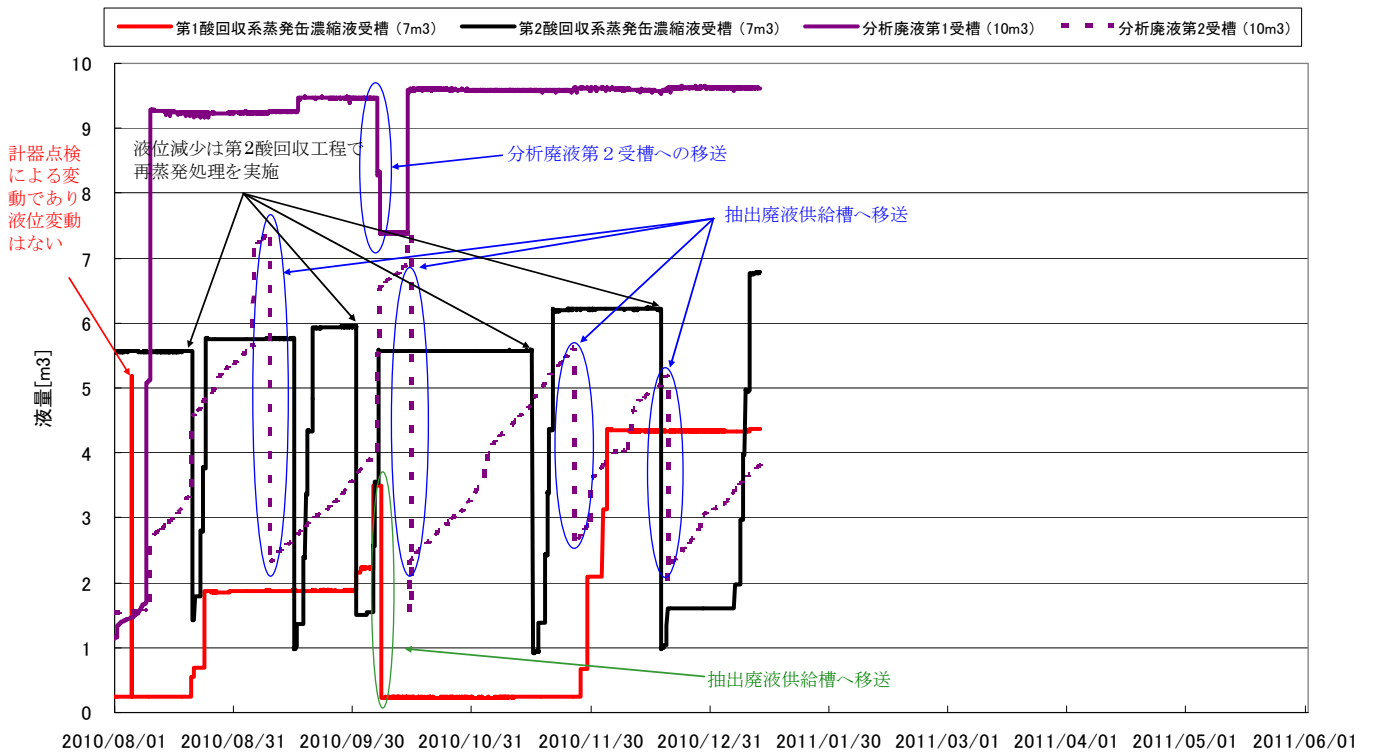


図-4 廃液発生元における各貯槽の液量

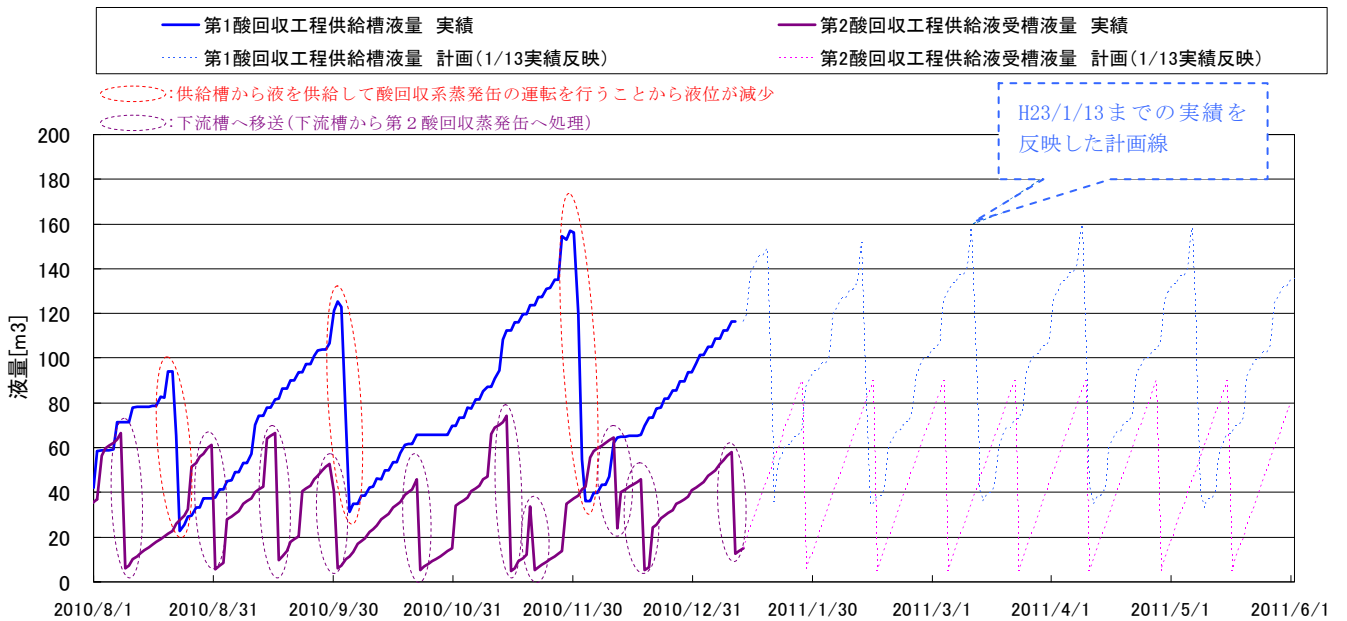


図-5 酸回収系蒸発缶 供給槽の液量

6. 貯槽が満杯になった場合の問題点

貯槽が満杯になった場合には、分析廃液の受け入れ不可に伴う分析停止や酸回収設備への廃液移送不可に伴うVOG廃ガス洗浄液の供給停止といった問題が発生するため、それを考慮し貯槽の容量に対して突発的な事象対応等を考慮した管理値を設け管理を行う。

①分析廃液受け入れ不可に伴う分析停止

分析廃液受槽からの移送ができなくなり、分析廃液受槽が満杯となると放射性物質濃度の高い試料の分析が停止するために、次の問題が発生する。

- ・ 放射性物質濃度が高い液（高レベル廃液ガラス固化建屋のVOG廃ガス洗浄廃液等）の組成が確認できなくなるため、放射性物質濃度が高い液を内包する設備が安全に運転できていることが確認できなくなる可能性がある。
- ・ 保障措置に係る核物質の在庫検認のための試料分析ができなくなり、在庫検認ができなくなる可能性がある。

②酸回収設備への廃液移送不可に伴うVOG廃ガス洗浄液の供給停止

第1酸回収系濃縮液受槽からの移送ができなくなり、第1酸回収系の起動ができなくなる。この場合、第1酸回収系供給槽が満杯となった時点では、上流槽であるVOG廃ガス洗浄廃液受槽等の受け入れができなくなることから、VOGの廃ガス洗浄液の供給を停止せざるを得ない。この結果、廃ガス洗浄塔の除染能力が低下する可能性がある。

確認事項		確認方法	補足説明及び実施の効果	実現性	採否 (効果)	
内容	対象					
保護管内 液量	保護管	直接目視	直接目視により液位を確認する。液位より液量を算出できる	対象がセル内、機器内にあることから、直接での目視は不可能	×	
		(内面)ビデオスコープ※1	カメラによる視認にて液位を確認する。液位より液量を算出できる。ただし、高放射線下の観測となるため、線量によっては視認性に劣る	特に問題なし	○	
		(内面)ファイバースコープ※2	カメラによる視認にて液位を確認する。液位より液量を算出できる。ただし、解像度が低いため、視認性に劣る	特に問題なし	○	
		実測(抜き取り)	保護管内の漏えい液を採取し、量を測定する。直接的に液量を測定することができる	漏えい液は高線量であり、作業員の過度の被ばく防止の観点から、実液の採取は困難	×	
		液位測定用具表面の線量当量率測定	ノッチ加工した測定用具を保護管内に挿入・液浸・抜き出した後、それぞれのノッチの線量当量率を測定し、その値の変化から液位を推定する。ただし、ノッチの目盛単位での算出となるため、測定誤差がある	特に問題なし	○	
		液位計による測定	液位計を挿入し、液位を測定する。液位より液量を算出できる	保護管の内径が小さく、また、屈曲部が複数あることから、液位計の挿入は困難	×	
	温度計	液浸品のγ線測定	γ線量の測定により温度計の汚染分布を特定し、漏えい液と接触した範囲(液位)を推定する。液位より液量を算出できる	特に問題なし	○	
		液浸品マクロ観察	外観観察及び表面詳細観察並びに温度計から採取したレプリカによる温度計表面の凹凸観察により温度計表面の変色・腐食痕跡を確認する。痕跡が確認された場合、漏えい液と接触した範囲(液位)の推定から、液量を算出できる	特に問題なし	○	
		液浸品レプリカ観察	温度計に腐食が確認された場合に、更なる詳細調査として、断面のマイクロスコープ・電子顕微鏡観察により、腐食状態(腐食深さ、脱粒程度)を確認することで、漏えい液と接触した範囲の更なる推定が可能となる	特に問題なし	○	
		液浸品の断面マイクロ観察	温度計に腐食が確認された場合に、更なる詳細調査として、断面のマイクロスコープ・電子顕微鏡観察により、腐食状態(腐食深さ、脱粒程度)を確認することで、漏えい液と接触した範囲の更なる推定が可能となる	特に問題なし	○	
	保護管内への 浸入時期	温度計	液浸品マクロ観察	外観観察及び表面詳細観察並びに温度計から採取したレプリカによる温度計表面の凹凸観察により温度計表面の変色・腐食痕跡を確認する。痕跡が確認された場合、その腐食状態から浸入開始時期が大概に推定できる	特に問題なし	○
			液浸品レプリカ観察	温度計表面に腐食が確認された場合に、更なる詳細調査として、断面のマイクロスコープ・電子顕微鏡観察により、腐食状態(腐食深さ、脱粒程度)を確認することで、浸入開始時期の更なる推定が可能となる	特に問題なし	○
			液浸品の断面マイクロ観察	温度計表面に腐食が確認された場合に、更なる詳細調査として、断面のマイクロスコープ・電子顕微鏡観察により、腐食状態(腐食深さ、脱粒程度)を確認することで、浸入開始時期の更なる推定が可能となる	特に問題なし	○
			液浸品の断面マイクロ観察	温度計表面に腐食が確認された場合に、更なる詳細調査として、断面のマイクロスコープ・電子顕微鏡観察により、腐食状態(腐食深さ、脱粒程度)を確認することで、浸入開始時期の更なる推定が可能となる	特に問題なし	○
損傷箇所	保護管	直接目視	直接目視により損傷箇所を確認する	対象がセル内、機器内にあることから、直接での目視は不可能	×	
		(内面)ビデオスコープ	カメラ視認により損傷箇所を確認する。ただし、高放射線下の観測となるため、線量によっては視認性に劣る	特に問題なし	○	
		(内面)ファイバースコープ	カメラ視認により損傷箇所を確認する。ただし、解像度が低いため、視認性に劣る	特に問題なし	○	
		(外面)ビデオスコープ	保護管外面をカメラ視認することにより損傷箇所を確認する	濃縮缶はセル内に設置されており、また、機器にスコープを挿入する開口部もないことからアクセス不可能	×	
		(外面)ファイバースコープ	保護管外面をカメラ視認することにより損傷箇所を確認する	濃縮缶はセル内に設置されており、また、機器にスコープを挿入する開口部もないことからアクセス不可能	×	
		切り出しによる詳細観察	保護管を切り出して濃縮缶より取り出し、詳細観察を行う。正確に損傷箇所を特定できる	濃縮缶はセル内に設置されており、また、切り出した当該部を取り出す開口部もないため不可能	×	
		圧力降下確認	窒素により保護管内を加圧し、その後の圧力降下傾向と液位変化を確認する。液位低下が確認された場合、およびその損傷箇所の位置が推定できる(損傷箇所より下の液は濃縮缶側へ抜けにくい)。ただし、およびその損傷箇所の位置(液面の上下)を推定するには範囲を段階的に狭める必要があるため、保護管内に液がある状態、及び液がない状態の複数回の実施が必要	特に問題なし	○	
		減圧による液浸入確認	真空ポンプにより保護管内を負圧に維持した状態で、保護管内をビデオスコープにより観察する。液流入をカメラ視認することにより損傷箇所を特定できる	特に問題なし	○	
		気泡による損傷箇所確認	保護管内に少量の水を張り、真空ポンプにより保護管内を負圧に維持した状態で、保護管内をビデオスコープにより観察する。濃縮缶内部から保護管内に流入した気体を気泡として検出することにより損傷箇所を特定できる	特に問題なし	○	
		ECT(渦流探傷試験) UT(超音波探傷試験)	ECT、UT、RT、PTにより損傷箇所を特定する	既存の装置で測定可能なものがなく、開発に時間を要するため、短期間での実施は困難	×	
RT(放射線透過試験)	濃縮缶はセル内に設置されており、高放射線環境であることから不可能	×				
PT(浸透探傷試験)	既存の装置で測定可能なものがなく、開発に時間を要するため、短期間での実施は困難	×				
PT(浸透探傷試験)	濃縮缶はセル内に設置されており、高放射線環境であることから不可能	×				
損傷の大きさ	保護管	直接目視	直接目視により損傷の大きさを確認する	対象がセル内、機器内にあることから直接での目視は不可能	×	
		(内面)ビデオスコープ	カメラ視認により損傷の大きさを確認する。ただし、高放射線下の観測となるため、線量によっては視認性に劣る	特に問題なし	○	
		(内面)ファイバースコープ	カメラ視認により損傷の大きさを確認する。ただし、解像度が低いため、視認性に劣る	特に問題なし	○	
		(外面)ビデオスコープ	保護管外面の損傷箇所をカメラ視認することにより損傷の大きさを確認する	濃縮缶はセル内に設置されており、また、機器にスコープを挿入する開口部もないことからアクセス不可能	×	
		(外面)ファイバースコープ	保護管外面の損傷箇所をカメラ視認することにより損傷の大きさを確認する	濃縮缶はセル内に設置されており、また、機器にスコープを挿入する開口部もないことからアクセス不可能	×	
		切り出しによる詳細観察	保護管を切り出して濃縮缶より取り出し、詳細観察を行う。正確に損傷の大きさを確認できる	濃縮缶はセル内に設置されており、また、切り出した当該部を取り出す開口部もないため不可能	×	
		圧力降下確認	窒素により保護管内を加圧し、その後の圧力降下傾向を確認する。圧力降下が確認された場合、圧力降下量から損傷箇所の大きさを推定できる。ただし、装置の接続部からのリークを考慮すると、孔径が微小な場合には推定が困難である。	特に問題なし	○	
		ヘリウムリーク試験	保護管内にヘリウムガスを充てんし、損傷箇所から濃縮缶へリークしたヘリウムを検出する。検出したリーク量から損傷の大きさを推定できる	保護管から濃縮缶へリークしたヘリウムは塔槽類へガス処理系へ移行するが、濃縮缶及び換気系配管は全てセル内に設置されており、アクセスができないことから実施不可能	×	
		ECT/UT	ECT、UT、RT、PT、マイクロ観察により損傷の大きさを特定する	既存の装置で測定可能なものがなく、開発に時間を要するため、短期間での実施は困難	×	
		RT		濃縮缶はセル内に設置されており、高放射線環境であることから不可能	×	
PT	既存の装置で測定可能なものがなく、開発に時間を要するため、短期間での実施は困難	×				
マイクロ観察	濃縮缶はセル内に設置されており、また、当該部へアクセスできる開口部もないため不可能	×				
保護管 残肉厚	保護管	詳細観察	保護管を濃縮缶より取り出し、詳細観察を行う。正確に残肉厚を特定できる	濃縮缶はセル内に設置されており、また、切り出した当該部を取り出す開口部もないため不可能	×	
		UT(底面)	UTにより保護管底面の残肉厚を測定する(但し、モックアップによる測定誤差の確認が必要)	特に問題なし	○	
		UT(側面)	UTにより保護管側面の残肉厚を測定する	既存の装置で測定可能なものがなく、開発に時間を要するため、短期間での実施は困難	×	

【凡例】○:実施し、効果が見込める ×:実施できない

網掛け部分は、調査を実施できないと判断したものを示す。

※1 ビデオスコープとは、超小型撮像素子(CCD)をスコープ先端に配置し、映像をケーブルで伝送するものである。また、高輝度LED照明をスコープ先端に配置したこともあり、ファイバースコープの10倍以上の解像度によって詳細な検査が可能である。

※2 ファイバースコープとは、CCDを手元に配置し、柔軟性のある光ファイバーの先端から取り入れた映像を、ファイバーを通して反対側から確認することができるものである。

現品調査作業における現場の管理状況

現品調査の実施にあたっては、保護管の取り合い部を開放状態にすると共に、カメラ（ファイバースコープ、ビデオスコープ）及び治具の保護管内への挿入、引き抜きを実施する。それに伴い、以下の作業上のリスクが想定された。

- ① 作業エリア外の汚染
- ② 作業員の汚染及び外部被ばく
- ③ 作業員の放射性物質の内部取り込み（内部被ばく）
- ④ 熱中症

このため、想定される作業リスクに対して、以下の対応を図ることとした。

1. 作業エリア外の汚染に対する管理

保護管内の放射性物質が作業エリア外に移行することを防ぐために、作業エリアにグリーンハウスを設置し（図中①）、グリーンハウス内の空気は局所排風機により高性能粒子フィルタを通して排気した。（図中②）

局所排風機は作業用2台の他、グリーンハウス内負圧維持用として1台を設置し、高性能粒子フィルタを通した排気は、建屋換気系のダクトに接続しグリーン区域に放出しない処置を講じた。

2. 作業員の汚染及び外部被ばくに対する管理

作業員の汚染防止及び外部被ばくを低減するために、以下に示す管理を行った。

(1) 汚染防止管理

- ・ 作業時には放射性物質の飛散防止のため、作業エリアのビニル養生の上に濡れウエスを敷いた（図中③）
- ・ 治具引き抜き時には鉛手袋を着用した上で除染をしながら作業を実施した（図中④）

(2) 外部被ばく管理

- ・ 作業時には保護管取り合い部にしゃへい体を設置し（図中⑤）、また、できるだけ保護管正面に立たないような作業管理を行った
- ・ グリーンハウスに空間線量モニタ及びダストモニタを設置して作業環境を連続監視することとし、作業中に線量上昇が確認された場合には作業を中断する運用とした（図中⑥）
- ・ 時間管理を行うことで、被ばくの低減に努めた

なお、作業終了時には保護管取り合い部にしゃへいプラグを設置し、汚染した治具等はしゃへい容器及びしゃへい用の鉛シートで養生することにより作業員等への外部被ばくを低減する処置を講じた。（図中⑦）

3. 作業員の放射性物質の内部取り込み（内部被ばく）

作業員の汚染、内部取り込み防止を図るため、作業内容に応じて全面マスク（図中⑧）、タイベックスーツを着用し（図中⑨）、ゴム手袋を数枚重ねて作業を行った。（図中⑩）。また、ゴム手袋を定期的に交換した。

4. 熱中症に対する管理

重装備となるため、熱中症対策としてクールベストを着用する（図中⑪）とともに、グリーンハウス内をスポットクーラーで冷却した。

以上の対応を施した作業現場の管理状況について、下図に示す。

