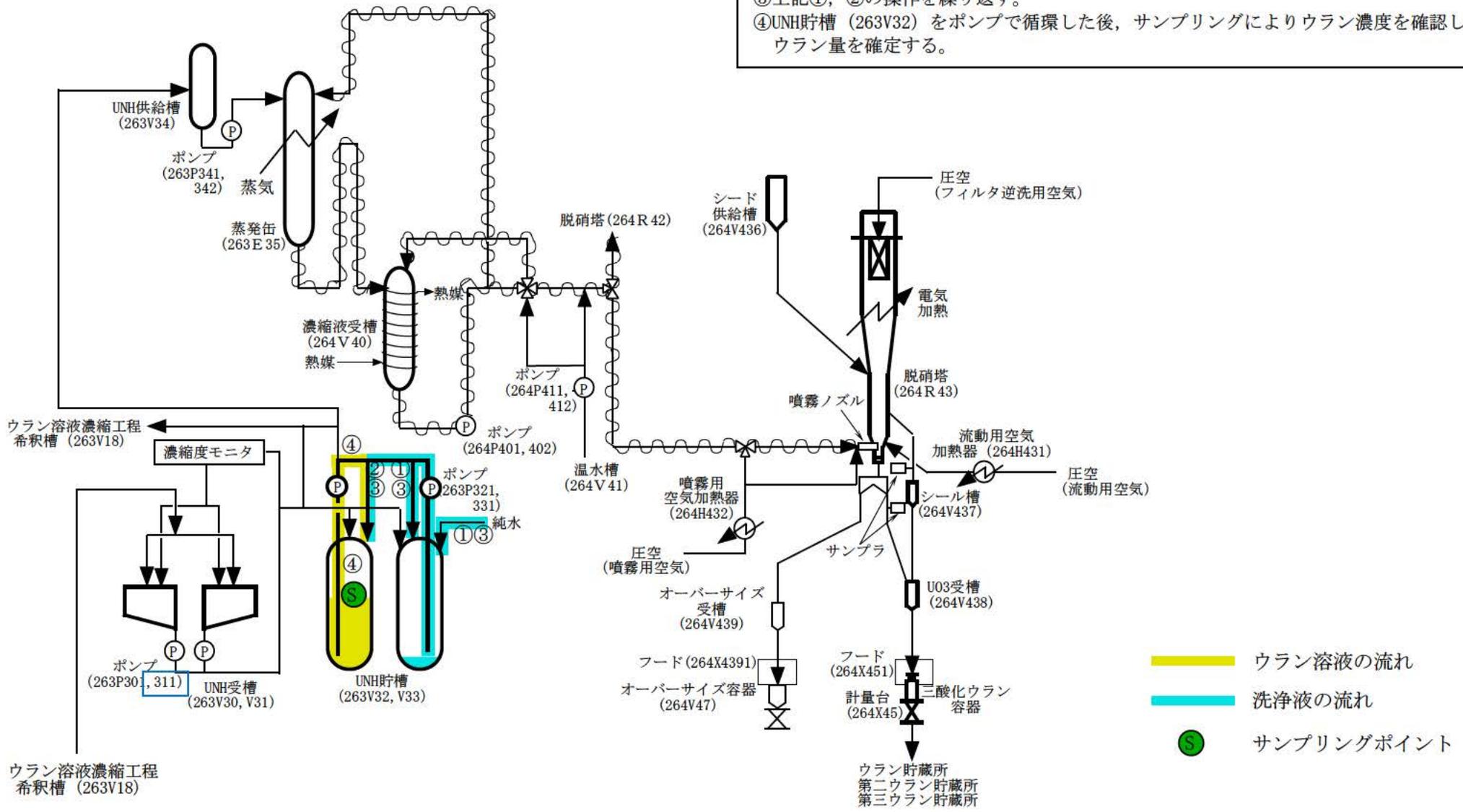
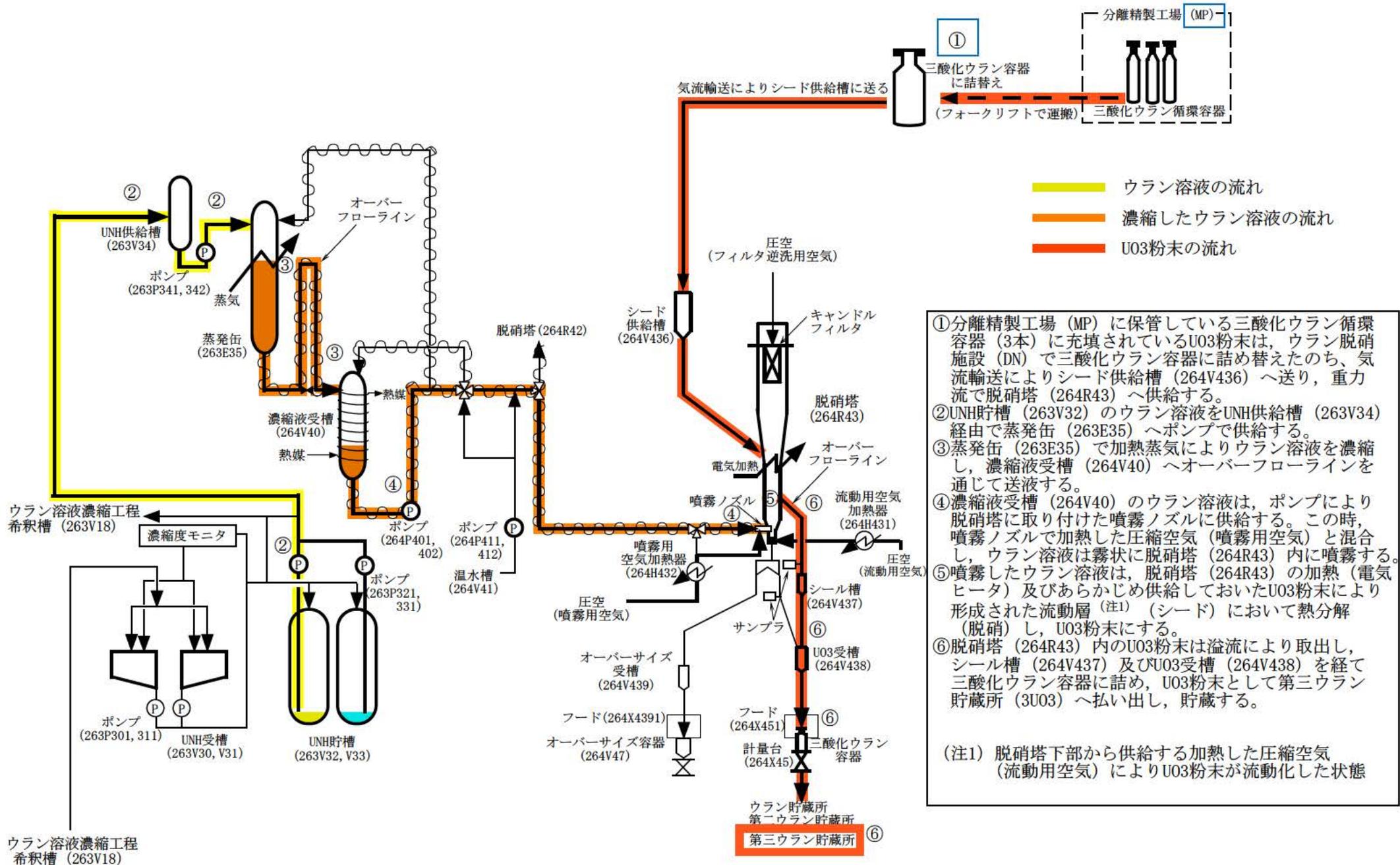


- ①ヒール状態となっているUNH貯槽 (263V33) に純水を供給後、263V33をポンプで循環する。
- ②UNH貯槽 (263V33) の洗浄液をポンプでUNH貯槽 (263V32) へ送液する。
- ③上記①, ②の操作を繰り返す。
- ④UNH貯槽 (263V32) をポンプで循環した後、サンプリングによりウラン濃度を確認し、ウラン量を確定する。

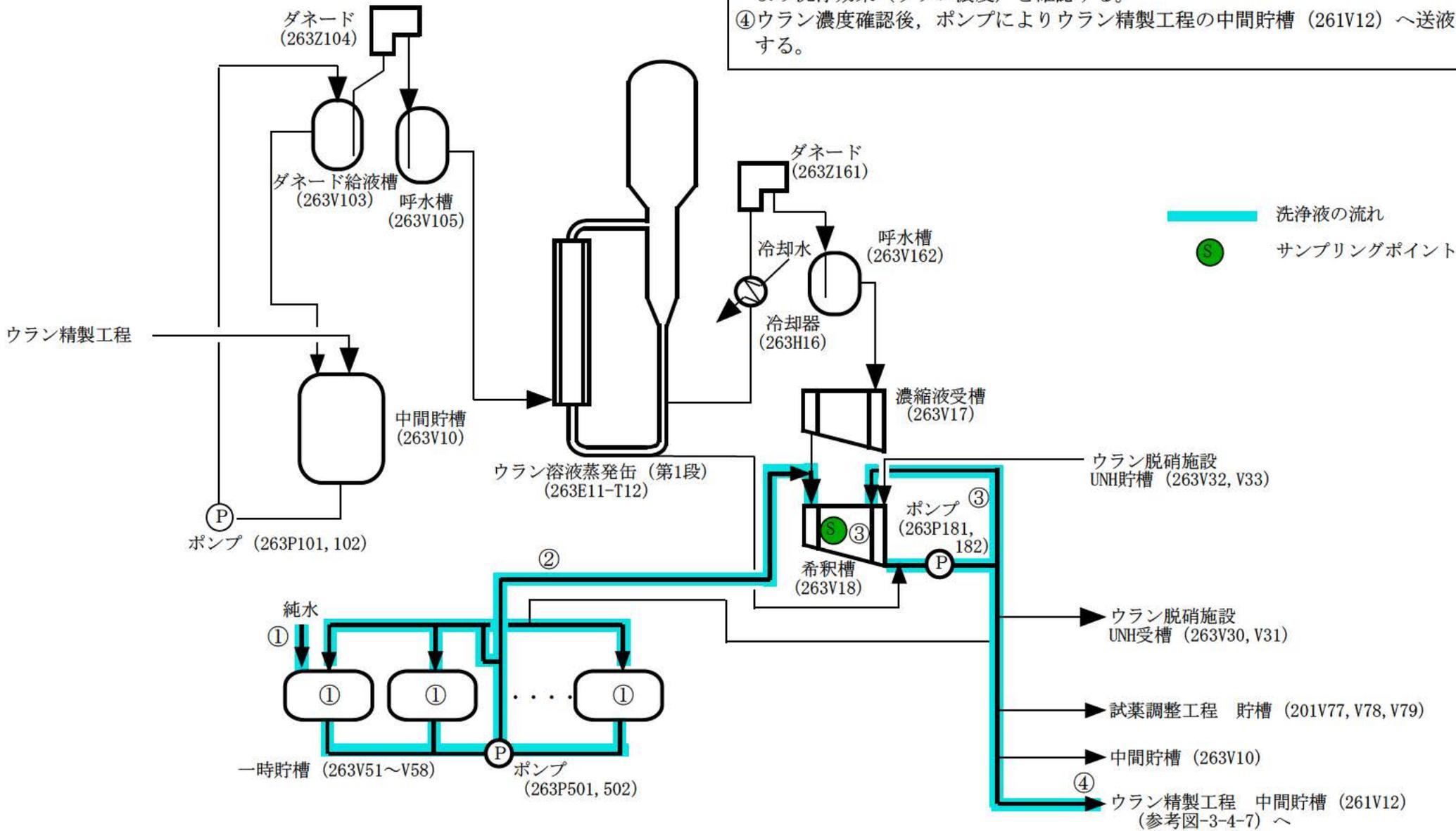


参考図-3-2-5 UNH貯槽 (263V33) の押し出し洗浄



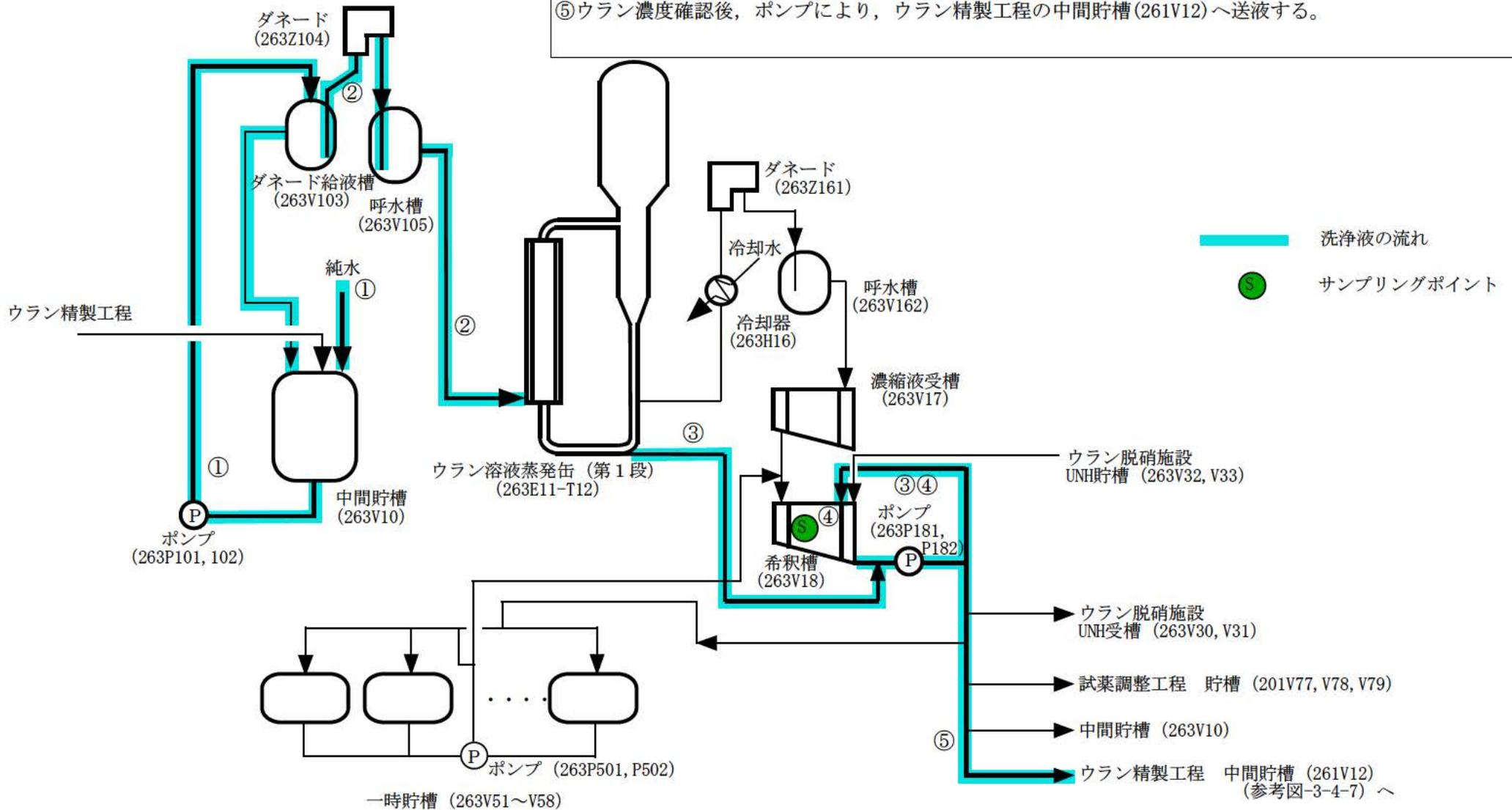
参考図-3-3 ウラン溶液の粉末化

- ①ウラン濃度の最も低い一時貯槽（263V53）に純水を供給し，ポンプにより循環後，ウラン濃度の低い順番に他の一時貯槽へ送液する。
- ②一時貯槽（263V51～V58）の洗浄液はポンプにより希釈槽（263V18）へ送液する。
- ③希釈槽（263V18）に受け入れた洗浄液をポンプで循環した後，サンプリングにより洗浄効果（ウラン濃度）を確認する。
- ④ウラン濃度確認後，ポンプによりウラン精製工程の中間貯槽（261V12）へ送液する。

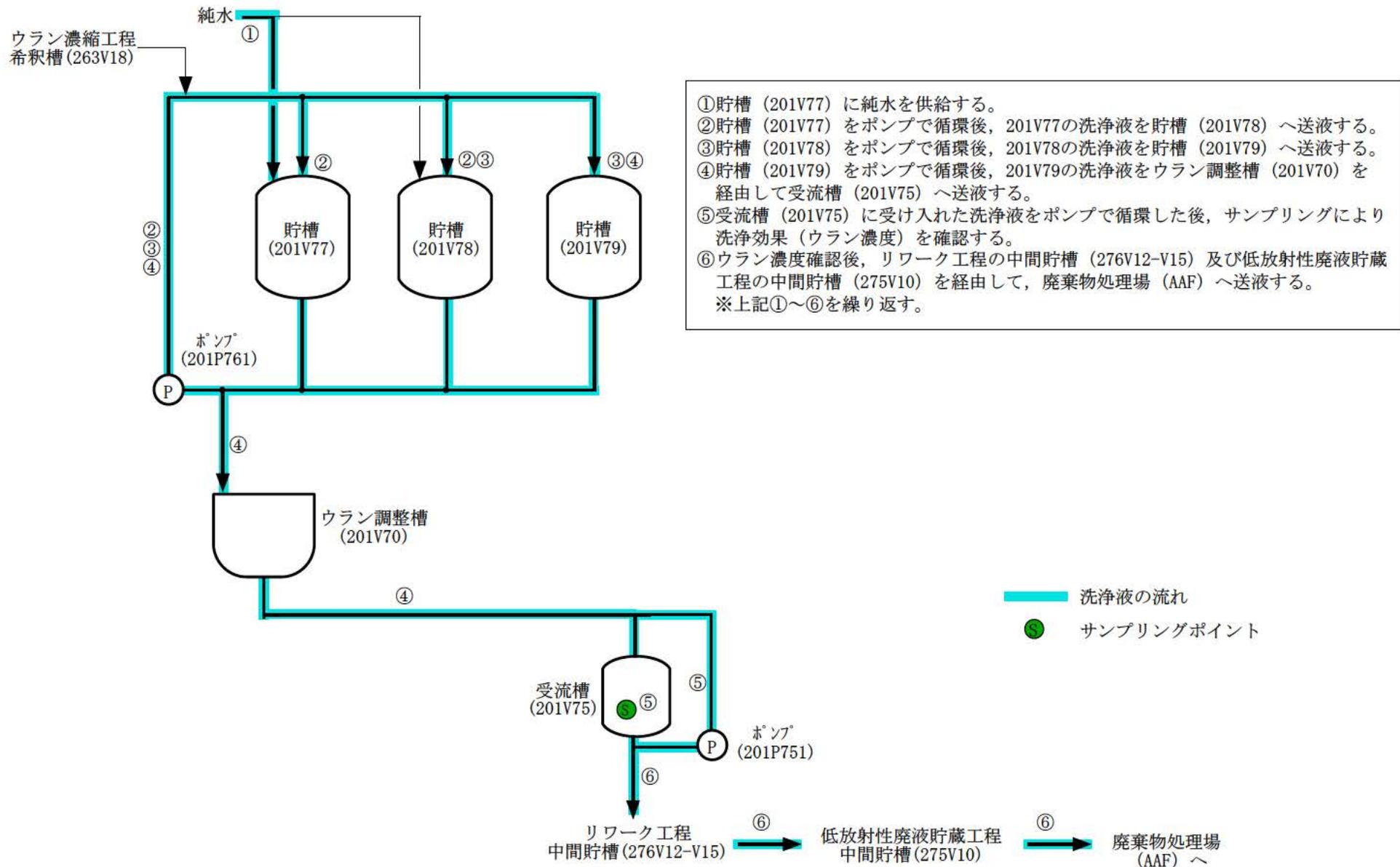


参考図-3-4-1 ウラン溶液の取出しに用いた系統の押し出し洗浄 (一時貯槽 (263V51～V58) の送液経路)

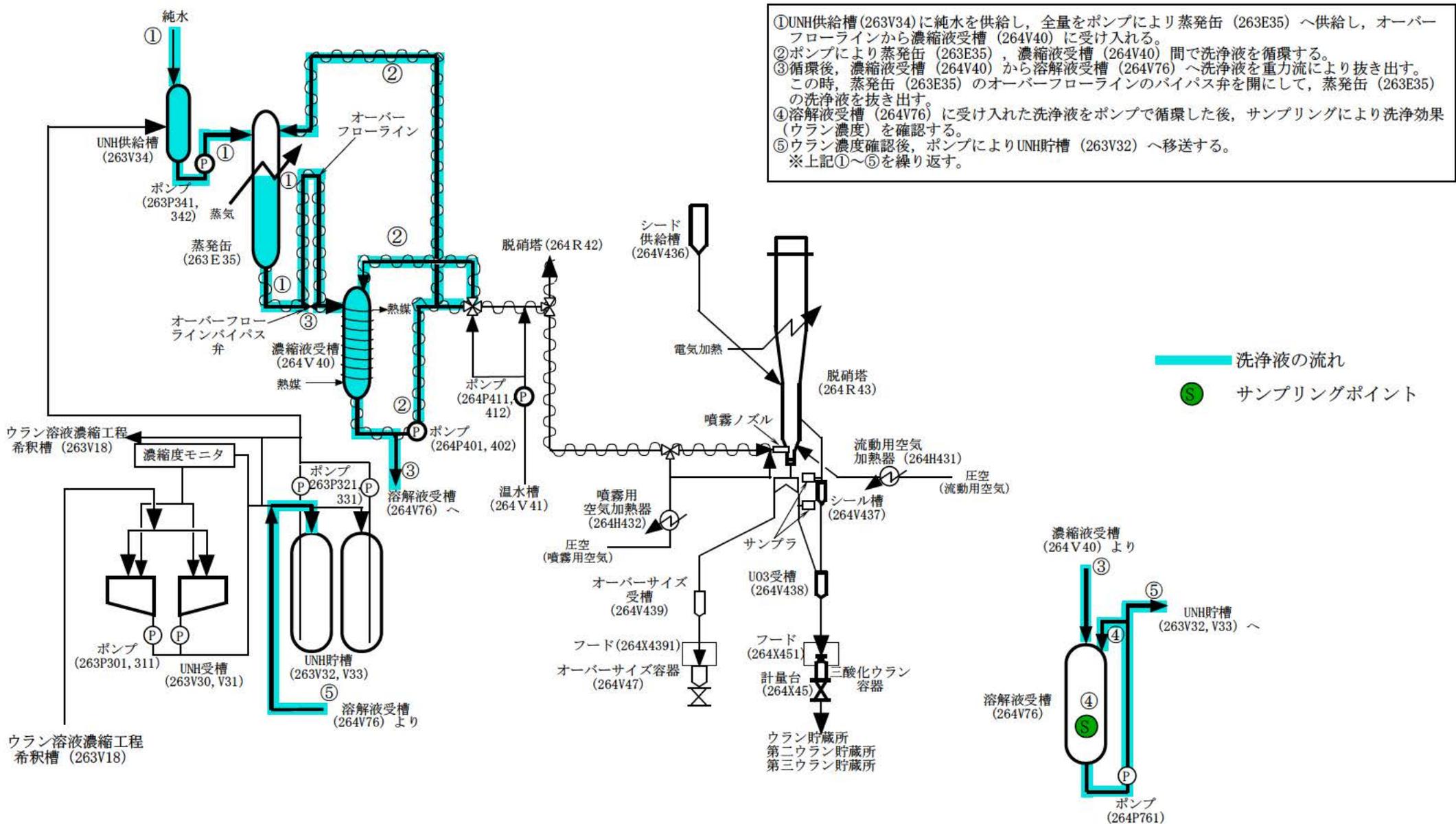
- ①中間貯槽(263V10)に純水を供給し、ポンプによりダネード給液槽(263V103)間で循環する。
- ②ダネードにより、ダネード給液槽(263V103)の洗浄液を呼水槽(263V105)経由でウラン溶蒸発缶(第1段)(263E11-T12)へ送液する。この時、ポンプの運転音が変わったら、ポンプを停止する。また、ウラン溶液蒸発缶(第1段)(263E11-T12)の液位上昇が停止したら、ダネードを停止する。
- ③ウラン溶液蒸発缶(第1段)(263E11-T12)の洗浄液をポンプにより、希釈槽(263V18)へ送液する。  
※上記①～③を繰り返す。
- ④希釈槽(263V18)に受け入れた洗浄液をポンプで循環した後、サンプリングにより洗浄効果(ウラン濃度)を確認する。
- ⑤ウラン濃度確認後、ポンプにより、ウラン精製工程の中間貯槽(261V12)へ送液する。



参考図-3-4-2 ウラン溶液の取出しに用いた系統の押し出し洗浄  
(中間貯槽(263V10)の送液経路)



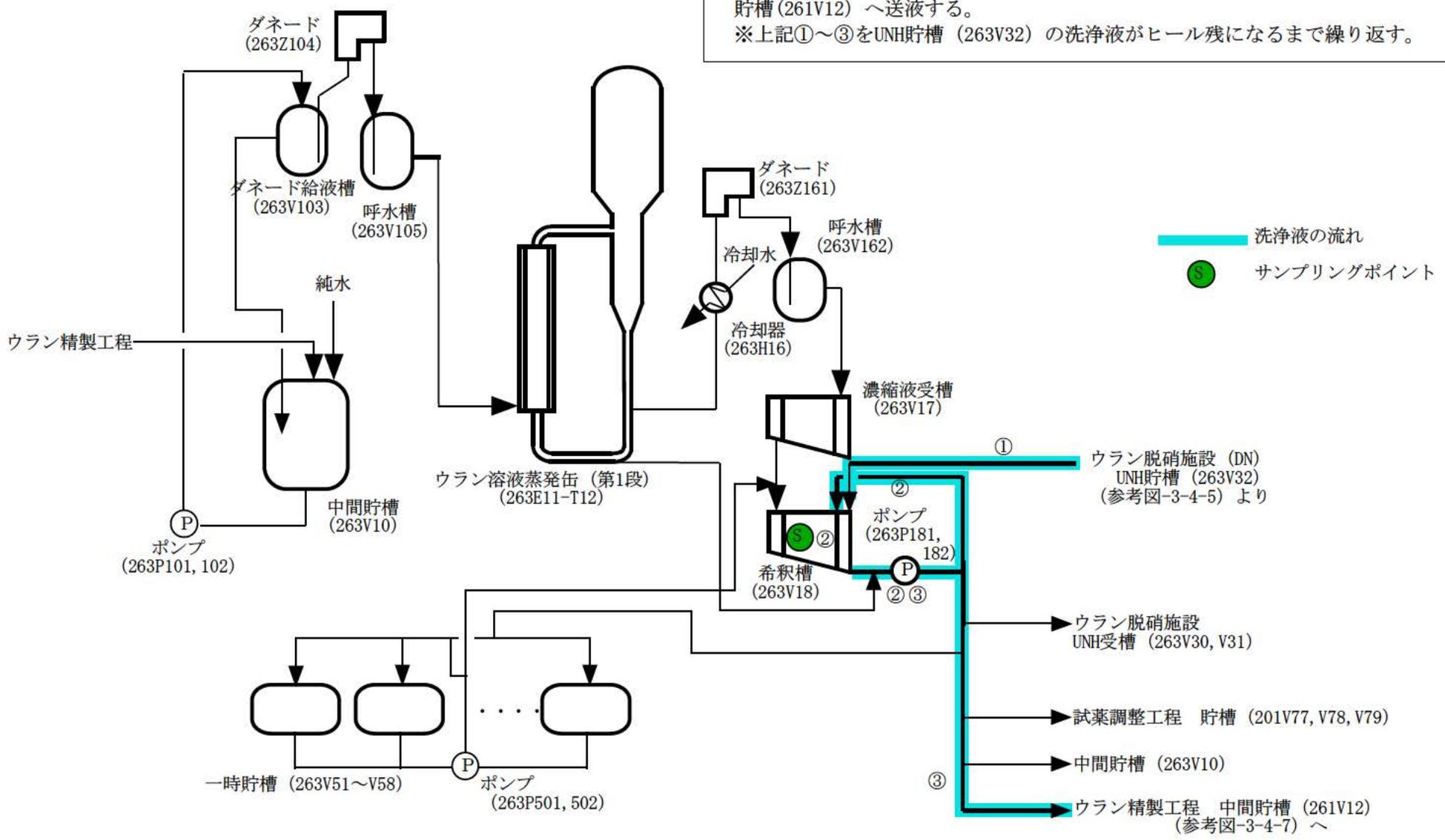
参考図-3-4-3 ウラン溶液の取出しに用いた系統の押し出し洗浄 (貯槽 (201V77～V79) の送液経路)



参考図-3-4-4 ウラン溶液の取出しに用いた系統の押し出し洗浄 (脱硝塔 (264R43) へのウラン溶液の送液系統①)



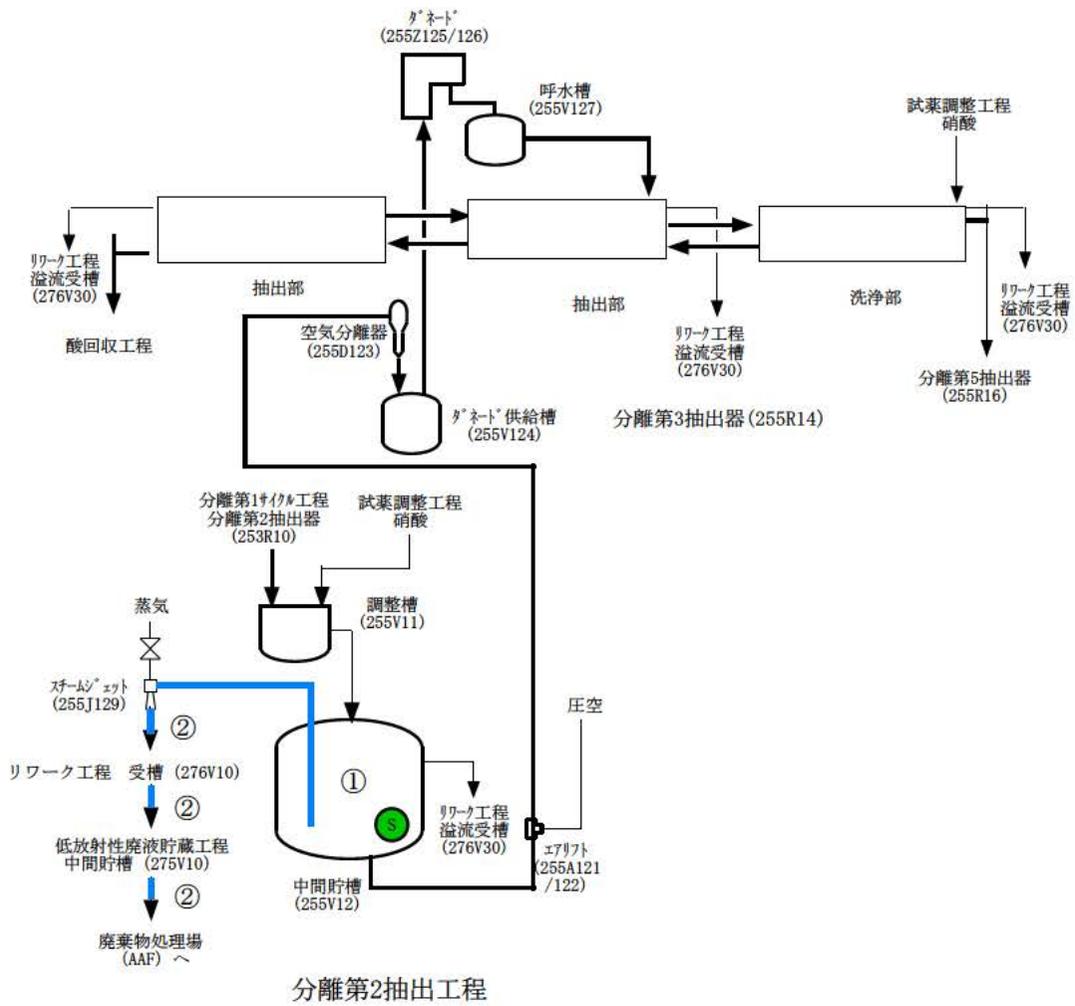
- ①ウラン脱硝施設 (DN) のUNH貯槽 (263V32)の洗浄液を希釈槽 (263V18)に受け入れる。
  - ②希釈槽 (263V18)に受け入れた洗浄液をポンプで循環した後、サンプリングにより洗浄効果 (ウラン濃度)を確認する。
  - ③ウラン濃度確認後、希釈槽 (263V18)の洗浄液をポンプによりウラン精製工程の中間貯槽 (261V12)へ送液する。
- ※上記①～③をUNH貯槽 (263V32)の洗浄液がヒール残になるまで繰り返す。



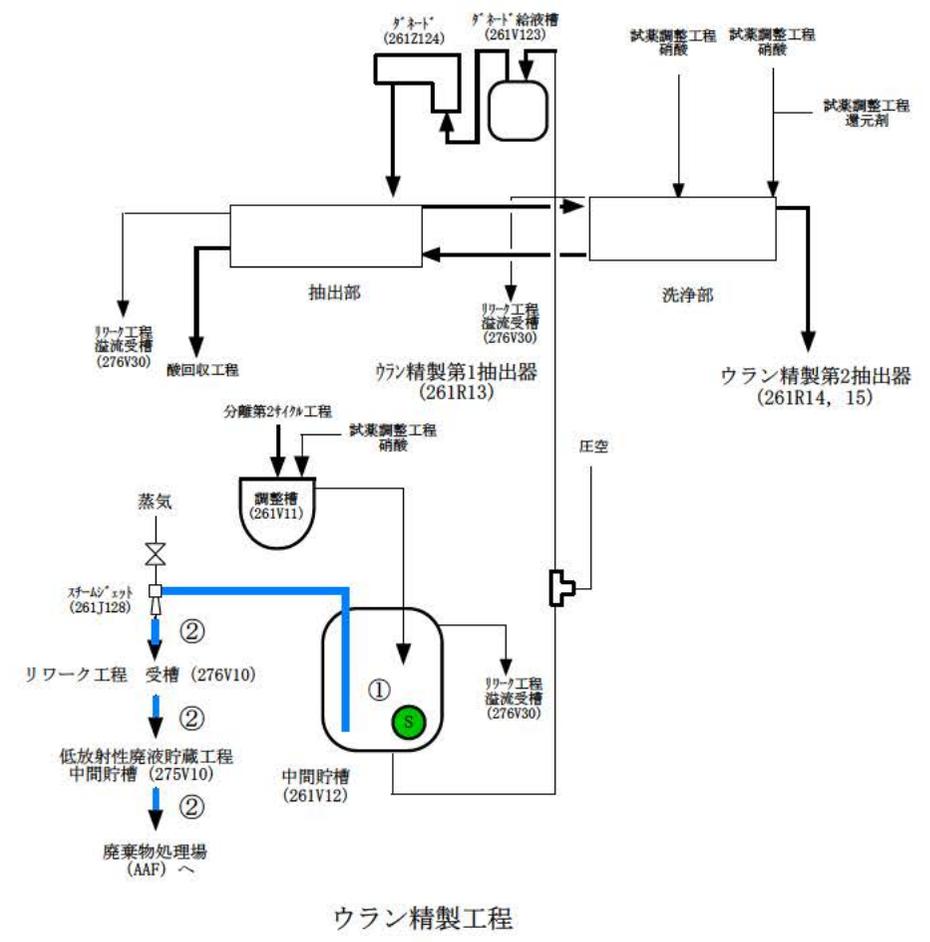
参考図-3-4-6 ウラン溶液の取出しに用いた系統の押し出し洗浄 (脱硝塔 (264R43) へのウラン溶液の送液系統③)



— 洗浄液の流れ  
 ● サンプルポイント

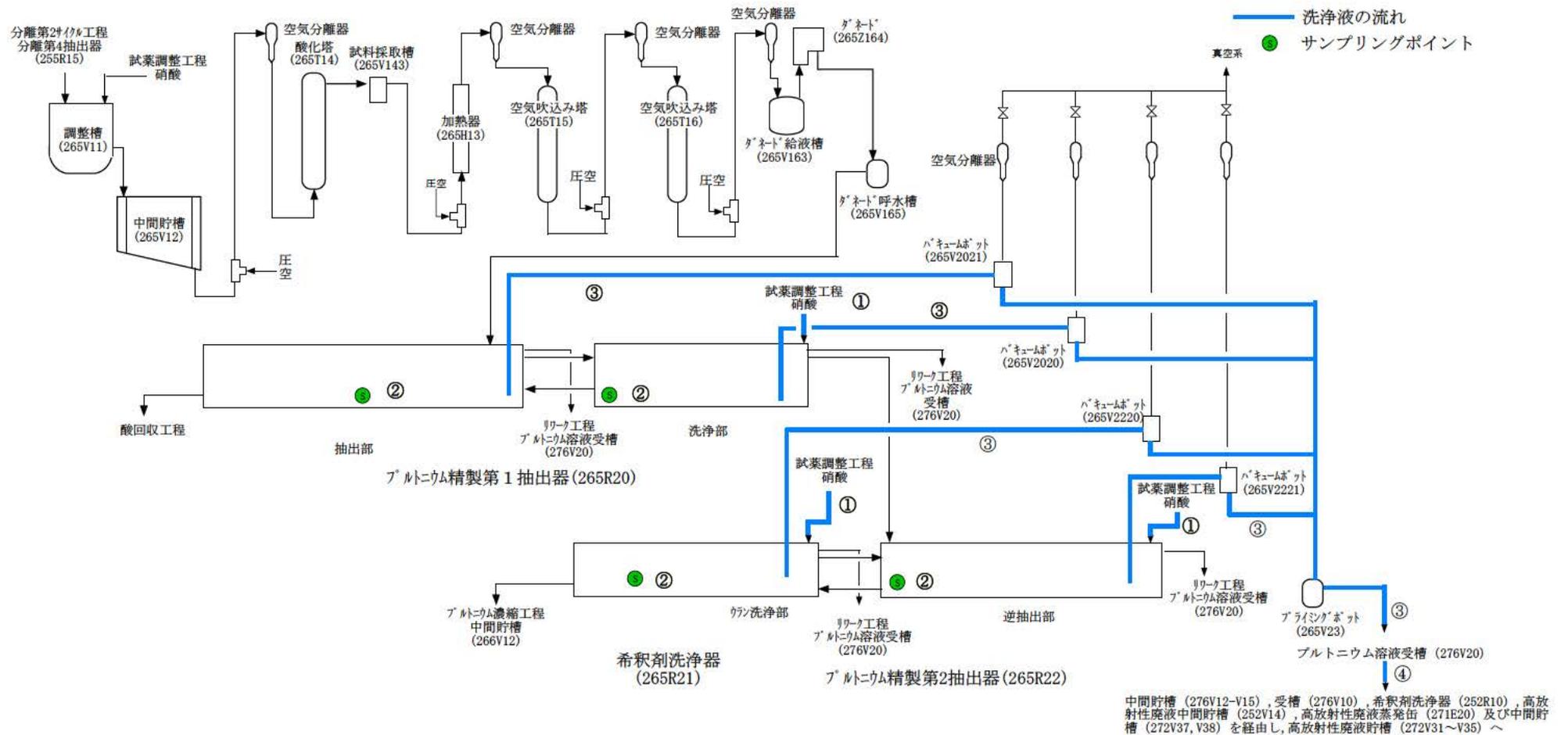


- ① 中間貯槽 (255V12) の洗浄液の濃度を確認し、洗浄効果を確認する。
- ② 中間貯槽 (255V12) の洗浄液をスチームジェットにより受槽 (276V10) へ送液し、低放射性廃液貯蔵工程の中間貯槽(275V10)を経由して、廃棄物処理場 (AAF)へ送液する。



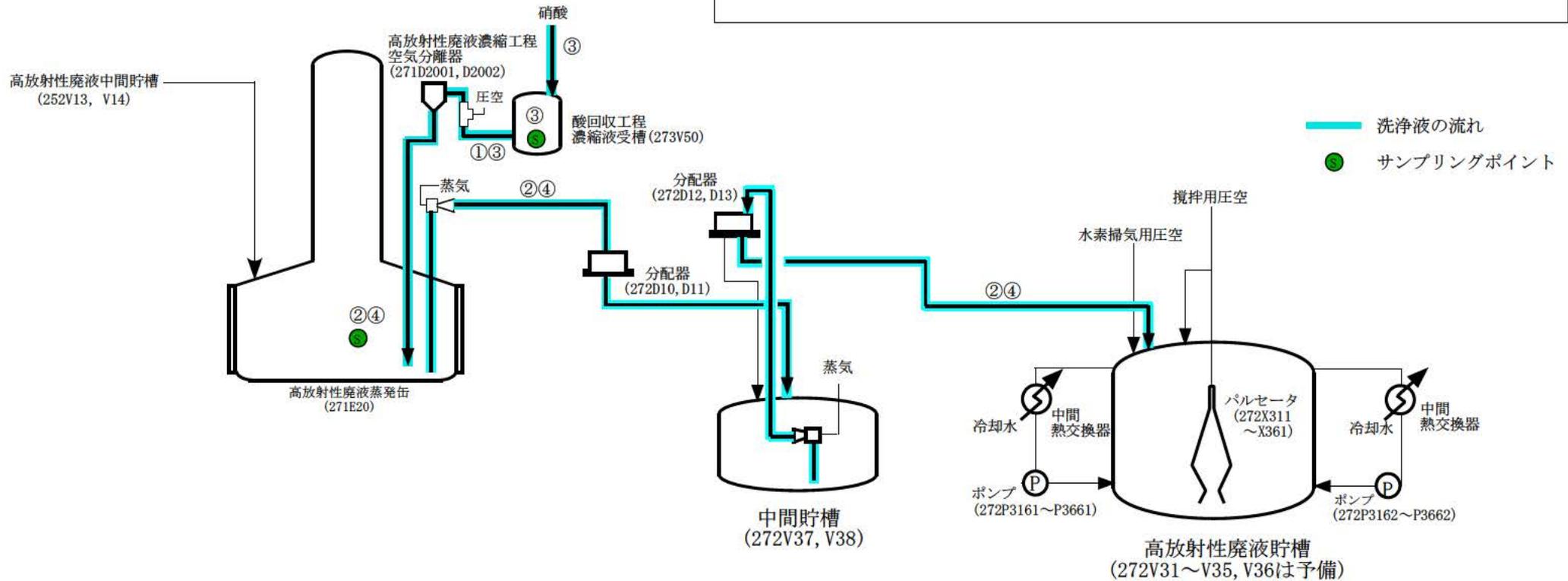
- ① 中間貯槽 (261V12) の洗浄液の濃度を確認し、洗浄効果を確認する。
- ② 中間貯槽 (261V12) の洗浄液をスチームジェットにより受槽 (276V10) へ送液し、低放射性廃液貯蔵工程の中間貯槽(275V10)を経由して、廃棄物処理場 (AAF)へ送液する。

参考図-4-1 その他の核燃料物質 (工程内の洗浄液等) の押し出し洗浄 (分離第2抽出工程及びウラン精製工程の中間貯槽 (255V12, 261V12) )



参考図-4-2 その他の核燃料物質(工程内の洗浄液等)の押し出し洗浄  
 (プルトニウム精製工程 プルトニウム精製第1抽出器(265R20), 希釈剤洗浄器(265R21), プルトニウム精製第2抽出器(265R22))

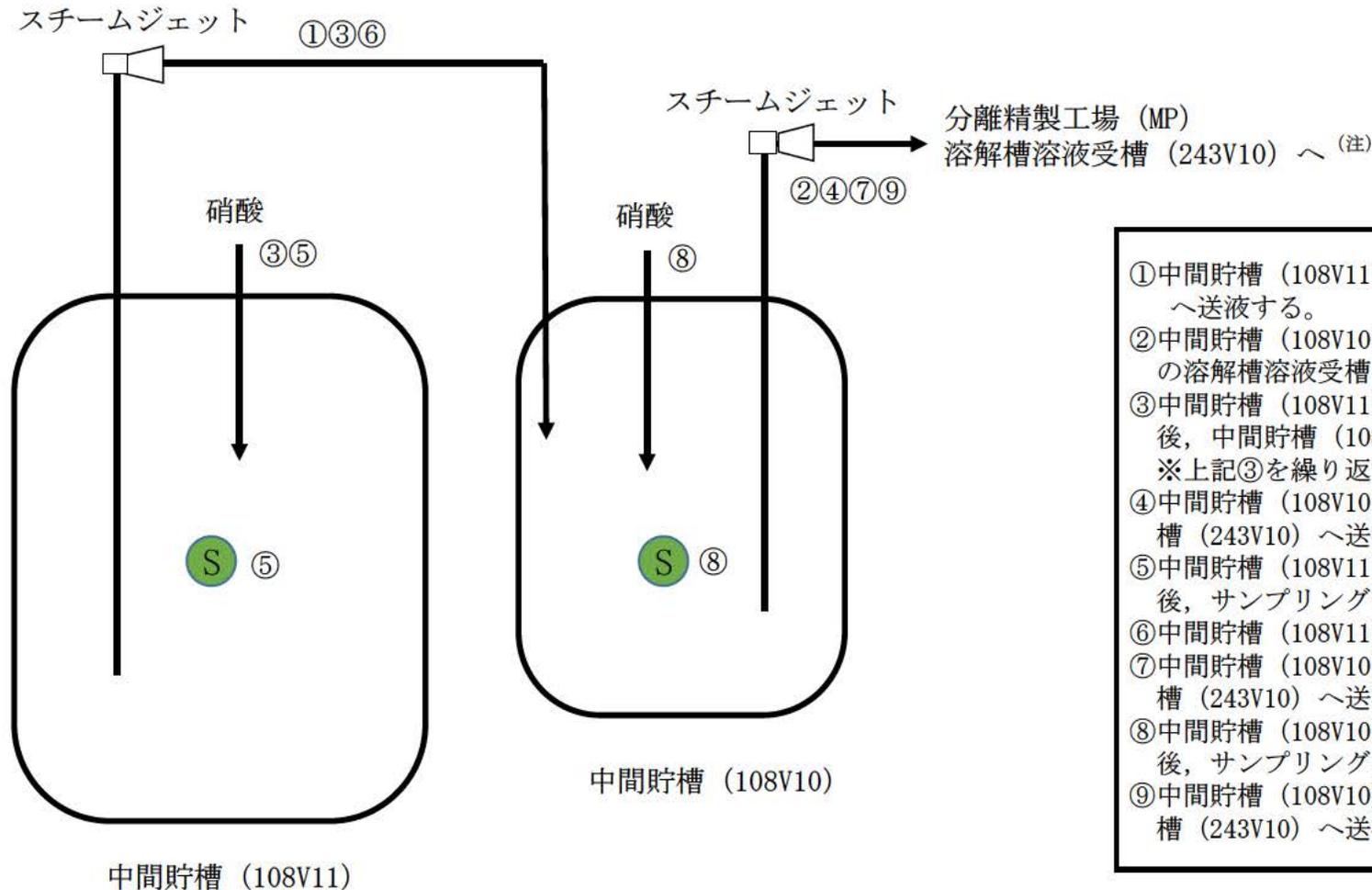
- ①酸回収工程の濃縮液受槽（273V50）の洗浄液は、エアリフトにより高放射性廃液濃縮工程の高放射性廃液蒸発缶（271E20）へ送液する。
- ②高放射性廃液蒸発缶（271E20）でサンプリングを行い、ウラン濃度及びプルトニウム濃度等を確認後、高放射性廃液貯蔵工程の中間貯槽（272V37, V38）を経由して高放射性廃液貯槽（272V31～V35）へ送液する。
- ③濃縮液受槽（273V50）の送液残液の洗浄液に硝酸を供給後、サンプリングを行い、ウラン濃度及びプルトニウム濃度等を確認後、エアリフトにより高放射性廃液蒸発缶（271E20）へ送液する。
- ④高放射性廃液蒸発缶（271E20）で洗浄液のサンプリングを行い、ウラン濃度及びプルトニウム濃度等を確認後、中間貯槽（272V37, V38）を経由して高放射性廃液貯槽（272V31～V35）へ送液する。



参考図-4-3 その他の核燃料物質(工程内の洗浄液等)の押出し洗浄  
(酸回収工程 濃縮液受槽 (273V50) )

— : 洗浄液等の流れ

●S : サンプルングポイント



(注) 溶解槽溶液受槽 (243V10) へ送液した洗浄液等は、せん断粉末の溶解液と同じ送液経路で高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の高放射性廃液貯槽 (272V31~V35) へ送液する。

参考図-4-4 その他の核燃料物質 (工程内の洗浄液等) の押し出し洗浄 (分析所 (CB) 中間貯槽 (108V10, V11) の分析試料等)

## 工程洗浄終了の判断基準等について

## 1. 工程洗浄終了の判断基準の考え方

工程洗浄では、再処理設備本体等に残存する回収可能核燃料物質を、通常の操作で再処理設備本体等から取り出すこととし、送液残液の押し出し洗浄では、硝酸又は水を用い押し出し洗浄の効果を確認しながら判断基準を下回るようにする。工程洗浄終了の判断基準は、通常の再処理運転の終了の判断基準を基本とする。

核燃料サイクル工学研究所の再処理施設では、再処理運転の最後に再処理設備本体<sup>※1</sup>のうち最も重要な機器である分離施設の抽出器を対象に、回収可能な核燃料物質の押し出し洗浄<sup>※2</sup>（約14日間）を実施し、分離第1サイクル工程及び分離第2サイクル工程の抽出器内のウラン及びプルトニウムをそれらの工程の中間貯槽へ集約した状態で再処理運転を停止している。この時、分離第2サイクル工程の分離第2抽出器内の洗浄液のウラン濃度が1 g/L未満（通常運転時約60 g/L）及びプルトニウム濃度10 mg/L未満（通常運転時約2 g/L）をもって再処理運転の終了としている。

工程洗浄では、上記、再処理運転の終了の判断基準（機器内の溶液のウラン濃度1 g/L未満及びプルトニウム濃度10 mg/L未満）を用い、再処理設備本体等に残存している回収可能核燃料物質の取出しを行う。工程洗浄の効果の確認は、回収可能核燃料物質の取出し経路上で、洗浄効果を確認する機器を定め、適宜、分析結果から核物質濃度変化を確認することによって行う（表-1参照）。

せん断粉末、低濃度のプルトニウム溶液及びウラン溶液（ウラン粉末を含む。）の取出し作業の終了ごとに、判断基準に到達していることを確認し、次の作業に移る。判断基準に到達しない場合には、それまでの取出し期間、廃液発生量及び洗浄効果の傾向を踏まえて、再度、工程洗浄を行うか、系統除染により除染するかを再処理廃止措置技術開発センター長が判断する。

※1 せん断処理施設、溶解施設、分離施設、精製施設、脱硝施設、酸及び溶媒の回収施設

※2 ウラン溶液を用いたプルトニウム及び核分裂生成物（FP）の押し出し洗浄後、硝酸を用いたウランの押し出し洗浄を行う。

## 2. 工程洗浄終了の判断基準の合理性

- 工程洗浄終了の判断基準は、従前の再処理運転終了時の洗浄において実績があり、通常の操作（硝酸等を用いた押し出し及び送液操作）により到達可能である。
- 工程洗浄終了の判断基準を達成するための回収可能核燃料物質の取出し期間としては、せん断粉末で約2か月、低濃度のプルトニウム溶液で約3か月、ウラン溶液及びウラン粉末で約3か月と、短期間で実施可能である。
- 工程洗浄の結果、工程洗浄前のウラン量                     未満及びプルトニウム量                     未満に対し、工程洗浄後にはウラン量                     未満、プルトニウム量                     未満程度まで低下させることが可能と推定している（表-2参照）。

以上

表-1 各機器における洗浄効果の確認ポイント (1/2)

分類	施設*	工程	機器名称	洗浄効果の確認ポイント	備考		
せん断粉末の溶解液の送液経路上の機器	MP	せん断	せん断粉末	—			
		溶解	濃縮ウラン溶解槽 (242R12)	調整槽 (251V10)	洗浄液を調整槽 (251V10) に送液し、洗浄効果を確認する。		
			洗浄液受槽 (242V13)				
		清澄	溶解槽溶液受槽 (243V10)				
			パルスフィルタ給液槽 (234V14)				
			パルスフィルタ (243F16)				
			パルス発生槽 (243V17)				
			シールポット (243V181)				
		調整	調整槽 (251V10)			調整槽 (251V10)	
			給液槽 (251V11)			高放射性廃液中間貯槽 (252V14)	洗浄液を高放射性廃液中間貯槽 (252V14) に送液し、洗浄効果を確認する。
			エアリフト中間貯槽 (251V114)				
			ダネード給液槽 (251V118)				
			呼水槽 (251V120)				
		分離第1サイクル	分離第1抽出器 (252R11)				
	希釈剤洗浄器 (252R10)						
	高放射性廃液中間貯槽 (252V14)	高放射性廃液中間貯槽 (252V14)					
低濃度のプルトニウム溶液の送液経路上の機器	MP	Pu 濃縮	中間貯槽 (266V12)	希釈槽 (266V13)	洗浄液を希釈槽 (266V13) に送液し、洗浄効果を確認する。		
			希釈槽 (266V13)	希釈槽 (266V13)			
			プルトニウム溶液蒸発缶 (266E20)	プルトニウム濃縮液受槽 (266V23)	洗浄液をプルトニウム濃縮液受槽 (266V23) に送液し、洗浄効果を確認する。		
			プルトニウム濃縮液受槽 (266V23)	プルトニウム濃縮液受槽 (266V23)			
			循環槽 (266V24)	循環槽 (266V24)			
			計量槽 (266V25)	循環槽 (266V24)	洗浄液を循環槽 (266V24) に送液し、洗浄効果を確認する。		
		Pu 製品貯蔵	プルトニウム製品貯槽 (267V10~V16)	計量槽 (267V102)	洗浄液を計量槽 (267V102) に (プルトニウム製品貯槽のサンプリング貯槽) 送液し、洗浄効果を確認する。		
			計量槽 (267V102)	計量槽 (267V102)			
		リワーク	中間貯槽 (276V12-V15)	高放射性廃液中間貯槽 (252V14)	洗浄液を高放射性廃液中間貯槽 (252V14) に送液し、洗浄効果を確認する。		
			プルトニウム溶液受槽 (276V20)				
			受槽 (276V10)				
		分離第1サイクル	希釈剤洗浄器 (252R10)				
			高放射性廃液中間貯槽 (252V14)	高放射性廃液中間貯槽 (252V14)			

表-1 各機器における洗浄効果の確認ポイント (2/2)

分類	施設*	工程	機器名称	洗浄効果の確認ポイント	備考		
ウラン溶液 (ウラン粉末を含む。)の送液経路上の機器	MP	U 溶液濃縮	中間貯槽 (263V10)	希釈槽 (263V18)	洗浄液を希釈槽 (263V18) に送液し、洗浄効果を確認する。		
			ウラン溶液蒸発缶 (第1段) (263E11-T12)				
			濃縮液受槽 (263V17)				
					希釈槽 (263V18)		
				ダネード給液槽 (263V103)	希釈槽 (263V18)	洗浄液を希釈槽 (263V18) に送液し、洗浄効果を確認する。	
				呼水槽 (263V105)			
				一時貯槽 (263V51~V58)			
			試薬調整	貯槽 (201V77~V79)	受流槽 (201V75)	洗浄液を受流槽 (201V75) に送液し、洗浄効果を確認する。	
							ウラン調整槽 (201V70)
					受流槽 (201V75)	受流槽 (201V75)	
		U 脱硝	三酸化ウラン循環容器 (FRP-5, 6, 10)	-			
		DN	U 脱硝	UNH 受槽 (263V30)	UNH 受槽 (263V31)	洗浄液を UNH 受槽 (263V31) に送液し、洗浄効果を確認する。	
					UNH 受槽 (263V31)	UNH 受槽 (263V31)	
					UNH 貯槽 (263V32)	UNH 貯槽 (263V32)	
					UNH 貯槽 (263V33)	UNH 貯槽 (263V33)	
					UNH 供給槽 (263V34)	溶解液受槽 (264V76)	洗浄液を溶解液受槽 (264V76) に送液し、洗浄効果を確認する。
					蒸発缶 (263E35)		
					濃縮液受槽 (264V40)		
					溶解液受槽 (264V76)	溶解液受槽 (264V76)	
		PCDF	受入	硝酸ウラニル受入計量槽 (P11V13)	硝酸ウラニル貯槽 (P11V14)	洗浄液を硝酸ウラニル貯槽 (P11V14) に送液し、洗浄効果を確認する。	
				硝酸ウラニル貯槽 (P11V14)	硝酸ウラニル貯槽 (P11V14)		
その他の核燃料物質 (工程内の洗浄液等)	MP	分離第2サイクル	中間貯槽 (255V12)	中間貯槽 (255V12)			
		U 精製	中間貯槽 (261V12)	中間貯槽 (261V12)			
		Pu 精製	プルトニウム精製抽出器 (265R20, R21, R22)	プルトニウム精製抽出器 (265R20, R21, R22)			
		酸回収	濃縮液受槽 (273V50)	濃縮液受槽 (273V50)			
	CB	分析	中間貯槽 (108V10)	中間貯槽 (108V10)			
			中間貯槽 (108V11)	中間貯槽 (108V11)			

※ ; MP : 分離精製工場, DN : ウラン脱硝施設, PCDF : プルトニウム転換技術開発施設, CB : 分析所

表-2 回収可能核燃料物質を保有している機器及び工程洗浄前後の核燃料物質の保有量 (1/2)

施設	工程名	物質の状態	保管場所		工程洗浄前		工程洗浄後の推定値 <sup>※2</sup>	
			機器名称	機器番号	保有量内訳	保有量 <sup>※1</sup>	保有量内訳	保有量
分離 精製工場 (MP)	せん断処理	使用済燃料 せん断粉末	除染保守セル	R333	—	■■■■ (推定) ■■■■ (推定)	—	■■■■ ■■■■
	溶解 清澄・調整	洗浄液	洗浄液受槽	242V13	約 0.6 m <sup>3</sup> ■■■■ 未満 (推定) ■■■■ 未満 (推定)	約 2 m <sup>3</sup> ■■■■ 未満 (推定) ■■■■ 未満 (推定)	約 0.35 m <sup>3</sup> ■■■■ 未満 ■■■■ 未満	約 1.1 m <sup>3</sup> ■■■■ 未満 ■■■■ 未満
			溶解槽溶液受槽	243V10	約 1.1 m <sup>3</sup> ■■■■ 未満 (推定) ■■■■ 未満 (推定)		約 0.75 m <sup>3</sup> ■■■■ 未満 ■■■■ 未満	
			パルスフィルタ	243F16	■■■■ 未満 (推定) ■■■■ 未満 (推定)		■■■■ 未満 ■■■■ 未満	
	分離, 精製, 酸回収, 溶媒 回収, リワーク	洗浄液	中間貯槽	255V12	約 1.4 m <sup>3</sup> ■■■■ 未満 (推定) ■■■■ 未満 (推定)	約 7 m <sup>3</sup> ■■■■ 未満 (推定) ■■■■ 未満 (推定)	0 m <sup>3</sup> ■■■■ ■■■■	約 0.75 m <sup>3</sup> ■■■■ 未満 ■■■■ 未満
			中間貯槽	261V12	約 3.0 m <sup>3</sup> ■■■■ 未満 (推定)		0 m <sup>3</sup> ■■■■	
			プルトニウム 精製抽出器	265R20, R21, R22	約 0.1 m <sup>3</sup> ■■■■ (推定)		約 0.1 m <sup>3</sup> ■■■■ 未満	
			濃縮液受槽	273V50	約 1.9 m <sup>3</sup> ■■■■ 未満 (推定) ■■■■ 未満 (推定)		約 0.6 m <sup>3</sup> ■■■■ 未満 ■■■■ 未満	
			プルトニウム 溶液受槽	276V20	約 0.2 m <sup>3</sup> ■■■■		約 0.05 m <sup>3</sup> ■■■■	
	プルトニウム 濃縮	洗浄液	希釈槽	266V13	約 0.35 m <sup>3</sup> ■■■■ ■■■■	1 m <sup>3</sup> 未満 ■■■■ ■■■■	0 m <sup>3</sup> ■■■■ ■■■■	0 m <sup>3</sup> ■■■■ ■■■■
プルトニウム 製品貯蔵	低濃度の プルトニウム 溶液	プルトニウム 製品貯槽	267V10~V16	約 1 m <sup>3</sup> ■■■■	約 1 m <sup>3</sup> ■■■■	約 0.05 m <sup>3</sup> 未満 ■■■■ 未満	約 0.05 m <sup>3</sup> 未満 ■■■■ 未満	

表-2 回収可能核燃料物質を保有している機器及び工程洗浄前後の核燃料物質の保有量 (2/2)

施設	工程名	物質の状態	保管場所		工程洗浄前		工程洗浄後の推定値 <sup>※2</sup>	
			機器名称	機器番号	保有量内訳	保有量 <sup>※1</sup>	保有量内訳	保有量
分離 精製工場 (MP)	ウラン 溶液濃縮・ 試薬調整	ウラン溶液	中間貯槽	263V10	約 0.5 m <sup>3</sup> [ ]	約 10 m <sup>3</sup> [ ]	約 0.07 m <sup>3</sup> [ ] 未満	約 0.134 m <sup>3</sup> [ ] 未満
			一時貯槽	263V51～V58	約 3.9 m <sup>3</sup> [ ]		約 0.06 m <sup>3</sup> [ ] 未満	
			受流槽	201V75	約 0.3 m <sup>3</sup> [ ]		0 m <sup>3</sup> [ ]	
			貯槽	201V77～V79	約 5.3 m <sup>3</sup> [ ]		約 0.004 m <sup>3</sup> [ ] 未満	
	ウラン脱硝	ウラン粉末	三酸化ウラン 循環容器	FRP-5, 6, 10	3 本 [ ]	3 本 [ ]	0 本 [ ]	0 本 [ ]
ウラン 脱硝施設 (DN)	ウラン脱硝	ウラン溶液	UNH 貯槽	263V32/V33	約 8 m <sup>3</sup> [ ]	約 8 m <sup>3</sup> [ ]	約 0.28 m <sup>3</sup> [ ] 未満	約 0.28 m <sup>3</sup> [ ] 未満
プルトニウム 転換技術 開発施設 (PCDF)	受入	ウラン溶液	硝酸ウラニル 貯槽	P11V14	約 0.03 m <sup>3</sup> [ ]	約 1 m <sup>3</sup> 未満 [ ]	0 m <sup>3</sup> [ ]	0 m <sup>3</sup> [ ]
分析所 (CB)	分析	分析試料等 <sup>※3</sup>	中間貯槽	108V10	約 0.2 m <sup>3</sup> [ ]	約 2 m <sup>3</sup> [ ]	約 0.1 m <sup>3</sup> [ ] 未満	約 0.2 m <sup>3</sup> [ ] 未満
			中間貯槽	108V11	約 1.4 m <sup>3</sup> [ ]		約 0.1 m <sup>3</sup> [ ] 未満	
回収可能核燃料物質の合計						[ ] 未満 [ ] 未満		[ ] 未満 [ ] 未満

別紙 2-5

※1 内訳を合算し、大約した値 (平成 29 年 6 月 30 日現在)

※2 工程洗浄終了の判断基準 ( [ ] ) に液量を乗じて算出。

※3 分析標準試料は含まない (分析標準試料 [ ] )。

## 長期停止による想定不具合及び点検項目について

工程洗浄では、保安規定に基づく施設管理計画の保全重要度分類の考え方に基づき点検を行うとともに、工程が長期にわたり停止していたことから、設備の長期停止を考慮した点検を行う。長期停止を考慮した設備点検の考え方をフローに示す(図-1 参照)。

長期停止を考慮した設備点検では、加熱機器について、閉じ込め機能、冷却機能及び加熱操作に対する点検を実施する。一方、加熱操作を伴わない静的機器(弁類を含む。)については、シール材の劣化、バルブの固着、送液装置等の詰り等に対する点検を実施する。また、回転機器等の動的機器については、絶縁抵抗等の電気点検、作動確認を実施する。なお、常時運転している機器や定期的な点検を行っている機器については、性能を維持していることから本点検の対象外とする。

以下に主な点検対象機器として濃縮ウラン溶解槽、パルスフィルタ、脱硝塔、送液装置等の想定不具合及び点検項目を示す(詳細は表-1 参照)。

#### 1) 濃縮ウラン溶解槽

平成 19 年の再処理運転にて使用した溶解槽プラグガスケットは経年劣化が考えられることから予備品と交換し、溶解時の溶解槽の気密を確保する。また、溶解槽プラグ可動軸の固着が想定されるため、潤滑剤塗布等の整備並びに作動確認を行う。

加熱蒸気、温水、冷却水及び硝酸供給系統の配管、送液装置(スチームジェット)並びに弁類は、配管等の閉塞・漏れ、弁の固着等、長期停止の影響が無いことを通水(通気)及び弁の作動確認により確認する。

濃縮ウラン溶解槽は、燃料処理運転と同様にせん断粉末の溶解を行うことから、溶解槽本体及びドリフトレイに損傷等の異常のないことを、TV カメラを濃縮ウラン溶解セルに挿入し観察する。また、加熱部に圧縮空気を入れ溶解槽内部に漏れがないことを確認する。

#### 2) 脱硝塔、蒸発缶

脱硝塔(264R43)の電気加熱ヒータは、長期停止期間中において加熱操作を行っておらず、ヒータの損傷、加熱性能の低下等が考えられることから、絶縁抵抗を測定し、異常が確認された場合はヒータの更新(巻き直し)を行う。

蒸発缶は、外観、通水、加熱操作により健全であることを確認する。

#### 3) パルスフィルタ

長期停止に伴い、エレメントの目詰り、シール材(Oリング)の劣化等が考えられる。また、真空配管(真空フィルタ)及び圧空配管(ストレーナ)の詰り・漏れ、弁類(VCV、三方弁、手動弁等)の故障(可動部の固着等)が考えられる。

このため、系内の洗浄残液を使ってパルスフィルタの作動確認を行い、不具合を見つけた場合は、部品交換(エレメント交換等)を行う。

#### 4) 送液装置

送液装置の長期停止による想定不具合を以下に示す。各送液装置の作動確認により健全性を確認する。不具合を見つけた場合は、ライン洗浄、ストレーナ清掃、部品交換などを行う。

- ① ダネード  
真空配管（真空フィルタ）の閉塞及び漏れ，弁類の動作不良，計装（流量調節）並びに本体の閉塞
  - ② スチームジェット  
蒸気配管及び圧空配管（ストレーナ）の閉塞及び漏れ並びに本体及び吸入吐出配管の閉塞
  - ③ エアリフト，エアジェット  
圧空配管（ストレーナ）の閉塞，弁類の故障並びに圧空流量計の破損
  - ④ サイフォン  
真空配管（真空フィルタ）の閉塞及び漏れ及び弁類の動作不良
- 5) バルブ類  
バルブ類については，長期間使用していないバルブは，固着等が考えられることから，工程洗浄で使用する系統のバルブ類は外観点検，作動確認を行い，不具合を見つけた場合は，補修又は交換を行う。
- 6) 回転機器  
回転機器の高経年化及び長期停止による主な想定不具合を以下に示す。各回転機器の作動確認により健全性を確認する。不具合を見つけた場合は，部品交換又は本体の交換を行う。
- (1) ポンプ
    - ① 本体：ケーシングの損傷，インペラー損傷，脱落，摺動部固着，シール材劣化並びに吸入吐出箇所の閉塞
    - ② 電動機：性能低下
    - ③ 軸，軸受等：軸受けの固着並びに軸の変形・摩耗
  - (2) 排風機
    - ① 本体：ケーシングの変形及び割れ，オイルの劣化及び不足並びに吸入吐出接手部の緩み
    - ② 電動機：性能低下
    - ③ 軸，軸受等：軸受けの摩耗，グリスの劣化及び不足，Vベルト/プーリーの劣化並びに摩耗
  - (3) 攪拌機（抽出器）
    - ① 本体：軸受の固着，変形並びに磨耗
    - ② 電動機：性能低下
- 7) サンプリング系統  
サンプリングブーツの劣化による損傷並びにサンプリングニードルの詰りによる試料採取不可が考えられることから，サンプリング操作による負圧確認や試料採取の確認を行い，必要に応じてサンプリングブーツやサンプリングニードルの交換を行う。

以上

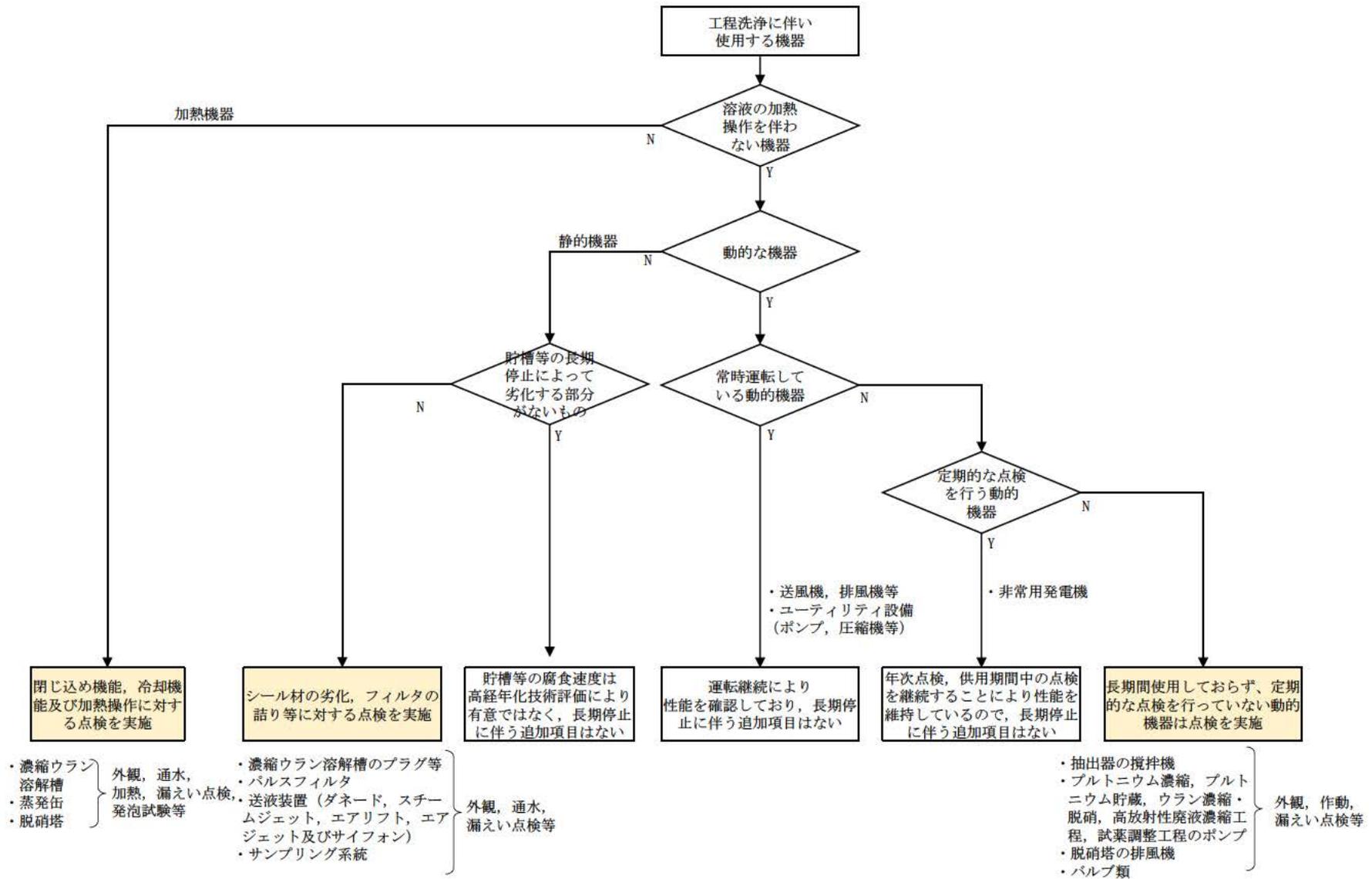


図-1 長期停止を考慮した設備点検項目の考え方

表-1 分離精製工場（MP）及びウラン脱硝施設（DN）における長期停止に伴う主な想定不具合及び点検項目

施設	分類	機器名	工程，機器番号		想定不具合	点検項目	
MP	1	濃縮ウラン 溶解槽	濃縮ウラン 溶解槽	溶解工程	242R12	プラグガasketの劣化	作動確認，溶解槽気密確認
						プラグ可動軸の伸縮不良	外観，作動確認，増し締め
						加熱，冷却系統弁類の作動不良	作動確認，溶解槽気密確認
						酸素，試薬供給系統弁類の作動不良	外観，作動確認
						加熱部からの漏えい	外観，加圧・発泡試験
	2	フィルタ， ろ過器	パルスフィルタ	清澄工程	243F16	シール材劣化	作動確認
						エレメント目詰り	流量確認
						シール材劣化	流量確認
						真空/圧空系統（VCV，三方弁，タイマ）の作動不良	作動確認
						シーケンサ制御不良	作動確認
	3	送液装置	ダネード	調整工程	251Z119，Z121	装置の性能低下	作動確認
				ウラン溶液 濃縮工程	263Z104	付属配管の詰り	作動確認
			スチーム ジェット	溶解工程	242J111，J112	装置の性能低下	作動確認
					242J1311，J1312，J137	付属配管の詰り	作動確認
		清澄工程		243J102，J103	装置の性能低下	作動確認	
				243J161，J163，J164，243V201	付属配管の詰り	作動確認	
		調整工程		251J126	装置の性能低下	作動確認	
		抽出工程		255J129，261J128	装置の性能低下	作動確認	
			付属配管の詰り		作動確認		

表-1 分離精製工場（MP）及びウラン脱硝施設（DN）における長期停止に伴う主な想定不具合及び点検項目

施設	分類	機器名	工程, 機器番号		想定不具合	点検項目	
MP	3	送液装置 (続き)	スチーム ジェット	リワーク工程	276J102, 276J124	装置の性能低下	作動確認
					276J126, 276J153	付属配管の詰り	作動確認
				HAW 濃縮工程	271J203, J204, J205	装置の性能低下	作動確認
						付属配管の詰り	作動確認
				酸回収工程	273J204, J205, J501, J426	装置の性能低下	作動確認
						付属配管の詰り	作動確認
			ウラン溶液 濃縮工程	263J131	装置の性能低下	作動確認	
					付属配管の詰り	作動確認	
			エアジェット	抽出工程	252J149	装置の性能低下	作動確認
						付属配管の詰り	作動確認
			エアリフト	調整工程	251A111, A112 251A114, A115	装置の性能低下	作動確認
						付属配管の詰り	作動確認
				抽出工程	252A143	装置の性能低下	作動確認
						付属配管の詰り	作動確認
				Pu 濃縮・貯蔵工程	266A123, A125, A131	装置の性能低下	作動確認
						付属配管の詰り	作動確認
				リワーク工程	276A107, A151, A203	装置の性能低下	作動確認
						付属配管の詰り	作動確認
				HAW 濃縮工程	271A206, A207, A208 A209, A2003	装置の性能低下	作動確認
						付属配管の詰り	作動確認

表-1 分離精製工場（MP）及びウラン脱硝施設（DN）における長期停止に伴う主な想定不具合及び点検項目

施設	分類	機器名	工程，機器番号		想定不具合	点検項目	
MP	3	送液装置 (続き)	エアリフト (続き)	試薬調整工程	201A132, A133	装置の性能低下	作動確認
						付属配管の詰り	作動確認
			サイフォン	調整工程	251S103, S104	装置の性能低下	作動確認
						付属配管の詰り	作動確認
	4	バルブ	真空調節弁 (FC)	抽出工程	252FC101, FC102, FC103, FIC1101FC1102, FC1103	異物噛込み	作動確認
					252FC1104, FC1105, FC1106, FC1107, FC1108, FC1109.1, FC1110, FC1111, FC1112, FC1113 FC1114, FC1115, FC1116, FC1117	駆動部固着	作動確認
	5	回転機器	ポンプ	Pu 濃縮・貯蔵工程	266P101 266P231	ケーシングの損傷	外観
						インペラー損傷, 脱落	作動確認(流量, 異音, 振動)
						摺動部の固着	作動確認(異音, 振動)
						シール材の劣化	作動確認(漏えい)
						吸入, 吐出箇所閉塞	作動確認(流量, 圧力)
						電動機性能低下	電流値, 振動
						軸受の固着, 変形, 磨耗	作動確認(異音, 振動)
						HAW 濃縮工程	271P311
			インペラー損傷, 脱落	作動確認(流量, 異音, 振動)			
摺動部の固着			作動確認(異音, 振動)				
シール材の劣化	作動確認(漏えい)						
					吸入, 吐出箇所閉塞	作動確認(流量, 圧力)	

表-1 分離精製工場（MP）及びウラン脱硝施設（DN）における長期停止に伴う主な想定不具合及び点検項目

施設	分類	機器名	工程，機器番号		想定不具合	点検項目	
MP	5	HAW 濃縮工程	271P311	電動機性能低下	電流値，振動		
				軸受の固着，変形，磨耗	作動確認（異音，振動）		
		ポンプ （続き）	試薬調整工程	201P751 201P761	ケーシングの損傷	外観	
					インペラー損傷，脱落	作動確認（流量，異音，振動）	
					摺動部の固着	作動確認（異音，振動）	
					シール材の劣化	作動確認（漏えい）	
					吸入，吐出箇所閉塞	作動確認（流量，圧力）	
					電動機性能低下	電流値，振動	
	軸受の固着，変形，磨耗	作動確認（異音，振動）					
	スターラ	抽出工程	252R10，252R11 265R20，265R21，265R22	電動機性能低下，軸受の固着，変形，磨耗	作動確認（電流値，異音，振動）		
	6	サンプリング 系統	サンプリング	サンプリング工程	251V10，252V14，266V13，255V12 261V12，265R20，265R21，265R22 271E20，273V50，276V20， 276V12-V15	サンプリングブーツの劣化損傷	外観目視，負圧確認
						循環性能低下	試料採取確認
						サンプリングニードルの詰り	試料採取確認

表-1 分離精製工場（MP）及びウラン脱硝施設（DN）における長期停止に伴う主な想定不具合及び点検項目

施設	分類	機器名	工程, 機器番号		想定不具合	点検項目	
DN	7	ポンプ	ウラン脱硝工程	263P301, P311, P321	本体の劣化	外観	
				263P331, P341, P342	インペラー損傷, 脱落	作動確認(流量, 異音, 振動)	
				263P371, P381	摺動部の固着	作動確認(異音, 振動)	
				264P4041, P4042, P411	シール材の劣化	作動確認(漏えい)	
				264P412, P601, P611	吸入, 吐出箇所閉塞	作動確認(流量, 圧力)	
				264P631, P632, P634	基礎(据付)ボルトの腐食, 緩み	外観, 触手(トルクチェック)	
				264P635, P641, P651	電動機絶縁低下	絶縁抵抗測定	
				264P621, P622, P761	電動機性能低下	電流値, 回転数, 温度, 振動	
				264P7911, P7912, P7921	モータベアリング磨耗	作動確認(異音, 振動)	
				264P7922, P8011, P8021	基礎(据付)ボルトの腐食, 緩み	外観, 触手(トルクチェック)	
	264P8031, P8311, P8312	軸受の固着	作動確認(異音, 振動)				
	264P8421, P8711, P8712	軸の変形, 磨耗	作動確認(異音, 振動)				
	8	送排風機	送排風機	ウラン脱硝工程	264K692	羽根等の腐食	作動確認(振動, 異音)
						ケーシング変形, 割れ	外観
						シール材の劣化	作動確認(漏えい)
						基礎(据付)ボルトの腐食, 緩み	外観, 触手(トルクチェック)
						オイル劣化, 不足	オイルチェック
						吸入吐出継手部の緩み	外観, 触手
						電動機絶縁低下	絶縁抵抗測定
						電動機性能低下	電流値, 回転数, 温度, 振動
モータベアリング磨耗, はめ合い緩み	作動確認(異音, 振動)						

表-1 分離精製工場（MP）及びウラン脱硝施設（DN）における長期停止に伴う主な想定不具合及び点検項目

施設	分類	機器名	工程, 機器番号		想定不具合	点検項目	
DN	8	送排風機	送排風機	ウラン脱硝工程	264K692	基礎(据付)ボルトの腐食, 緩み	外観, 触手 (トルクチェック)
						軸受け, 軸の磨耗	作動確認(異音, 振動)
						グリス劣化, 不足	作動確認(異音, 振動, 温度)
						Vベルト劣化, Vプーリー磨耗	外観, 作動確認(異音)
	9	移送装置	吸引ノズル	ウラン脱硝工程	264X491	本体の変形, インフレートシール脱落	外観, 作動確認
						車輪(ギア, ローラー等)の劣化, 磨耗	作動確認(振動)
						基礎(据付)ボルトの腐食, 緩み	外観, 触手 (トルクチェック)
						電動機絶縁低下	絶縁抵抗測定
						電動機性能低下	電流値
						基礎(据付)ボルトの腐食, 緩み	外観, 触手 (トルクチェック)
						軸受け, 軸の磨耗	作動確認(異音, 振動)
						ベルト, チェーンの劣化	外観
						変速機の劣化	作動確認(異音)
						異物噛み込み	作動確認(異音)
	10	送液装置	スチーム ジェット	ウラン脱硝工程	263J325	本体の腐食	外観
						装置の性能低下	作動確認
						付属配管の腐食, 損傷	通水
						付属配管の詰り	通水
						本体の腐食	外観
						装置の性能低下	作動確認
						付属配管の腐食, 損傷	通水
						付属配管の詰り	通水

表-1 分離精製工場（MP）及びウラン脱硝施設（DN）における長期停止に伴う主な想定不具合及び点検項目

施設	分類	機器名	工程, 機器番号		想定不具合	点検項目	
DN	11 制御盤・電源盤	現場制御盤	ウラン脱硝工程	(A111)	盤本体, 固定ボルトの腐食	外観	
					リレー固着, タイマー作動不良	外観, 作動確認	
					絶縁抵抗低下	絶縁抵抗測定	
					端子台の腐食	外観	
	12	サイリスタ 整流器盤	ウラン脱硝工程	(G224)	盤本体, 固定ボルトの腐食	外観	
					リレー固着, タイマー作動不良	外観, 作動確認	
					絶縁抵抗低下	絶縁抵抗測定	
					端子台の腐食	外観	
	13 その他(秤量 器)	計量台	ウラン脱硝工程	264X45	ケーシングの腐食, 損傷	外観	
					ロードセルの作動不良	作動	
					指示計の作動不良	作動	
	14	気送用計量台	ウラン脱硝工程	264X49	ケーシングの腐食, 損傷	外観	
					ロードセルの作動不良	作動	
					指示計の作動不良	作動	
	15	ウラン溶液濃縮	蒸発缶	ウラン脱硝工程	263E35	機器本体, 付属配管の腐食, 損傷による漏洩	外観, 通気
	16	ウラン脱硝	脱硝塔 (破裂板含む)	ウラン脱硝工程	264R43 (264X4302 含む)	機器本体, 付属配管の腐食, 損傷による漏洩	外観, 通気
ヒータの劣化						絶縁抵抗測定, 作動確認	
接続部からのリーク						外観, 通気	
関連弁の開閉状況						外観, 通気	

表-1 分離精製工場（MP）及びウラン脱硝施設（DN）における長期停止に伴う主な想定不具合及び点検項目

施設	分類	機器名	工程, 機器番号		想定不具合	点検項目	
DN	17	熱媒加熱器	ウラン脱硝工程	264H405	機器本体, 付属配管の腐食, 損傷による漏洩	外観, 通水	
					冷水, 冷却水, 蒸気配管の閉塞	通水	
		18	流動用空気加熱器	ウラン脱硝工程	264H431	機器本体, 付属配管の腐食, 損傷による漏洩	外観, 通気
						電気ヒータ絶縁抵抗低下	絶縁抵抗測定, 作動確認
	19	噴霧用空気加熱器	ウラン脱硝工程	264H432	機器本体, 付属配管の腐食, 損傷による漏洩	外観, 通気	
					電気ヒータ絶縁抵抗低下	絶縁抵抗測定, 作動確認	
	20	ページ用空気加熱器	ウラン脱硝工程	264H433	機器本体, 付属配管の腐食, 損傷による漏洩	外観, 通気	
					電気ヒータ絶縁抵抗低下	絶縁抵抗測定, 作動確認	

工程洗浄において環境へ放出される放射性廃棄物及び  
放出に対する取組について

## 1. はじめに

核燃料サイクル工学研究所再処理施設から環境へ放出される放射性廃棄物は、環境への影響をできる限り少なくするように、主要な核種等の年間最大放出量を再処理事業指定申請書に定め許可を受けるとともに再処理施設保安規定に定め、環境へ放出される放射能物質の濃度を監視している。廃止措置段階の再処理施設は新たに使用済燃料の再処理を行わず、現実的な値を廃止措置計画変更認可申請書（平成 30 年 6 月認可）に放出管理目標値として定め、再処理施設保安規定で管理している。

今後実施する工程洗浄で放出される放射性気体廃棄物及び放射性液体廃棄物の放出量を、過去の放出実績をもとに評価を行い、環境への影響を低減するための取組について以下に示す。

## 2. 工程洗浄で環境へ放出される放射性廃棄物（図-1 参照）

工程洗浄で環境へ放出される放射性廃棄物は、せん断粉末の溶解に伴う廃気及び溶解オフガス洗浄廃液並びにせん断粉末の溶解液の送液に伴う廃気及び槽類換気系のオフガス洗浄廃液から発生する。低濃度のプルトニウム溶液及びウラン溶液は、既に精製されており放射性廃棄物の主要な核種等を含んでおらず、高放射性廃液貯蔵場（HAW）の高放射性廃液貯槽（272V31～V35）への送液操作及び粉末化でも環境へ放出される放射性気体廃棄物及び放射性液体廃棄物への影響はない。

### ○せん断粉末の溶解に伴う廃気及び溶解オフガス洗浄廃液

せん断粉末を加熱して溶液化する際に、放射性物質を含む廃気が発生する。この廃気は、濃縮ウラン溶解槽（242R12）の換気系統でオフガス洗浄を行う。洗浄された廃気は、更にフィルタにより放射性物質を捕集した後、放射性気体廃棄物として主排気筒より大気中に放出される。オフガス洗浄に用いた洗浄廃液は、再処理運転時と同様に処理され、放射性液体廃棄物として海中放出管から海洋放出される。

### ○せん断粉末の溶解液の送液に伴う廃気及び槽類換気系のオフガス洗浄廃液

せん断粉末の溶解液は、抽出工程、高放射性廃液濃縮工程を経由した後、高放射性廃液貯槽（272V31～V35）へ送液し廃棄する。せん断粉末の溶解液の送液に係る工程からの廃気は、槽類換気系でオフガス洗浄を行う。洗浄された廃気は、更にフィルタにより放射性物質を捕集した後、放射性気体廃棄物として主排気筒から大気中に放出される。オフガス洗浄に用いた洗浄廃液は、再処理運転時と同様に処理され、放射性液体廃棄物として海中放出管から海洋放出される。これらのせん断粉末の溶解液の送液に伴う放出量は蒸発缶での蒸発濃縮操作を行わないことから、せん断粉末の溶解に伴う放射エネルギーよりも十分低い。

### 3. 環境へ放出される放射性廃棄物の評価

#### (1) 評価対象

再処理事業指定申請書及び再処理施設保安規定に定めている環境へ放出される主要な核種を評価対象とする。

##### ○ 放射性気体廃棄物

Kr-85, H-3, C-14, I-129, I-131

##### ○ 放射性液体廃棄物

H-3, Sr-89, Sr-90, Zr-95, Nb-95, Ru-103, Ru-106, Rh-106, Cs-134, Cs-137, Ce-141, Ce-144, Pr-144, I-129, I-131, Pu ( $\alpha$ )

#### (2) 評価方法

##### ① せん断粉末の放射エネルギー

せん断粉末は、これまでの再処理運転においてせん断処理した様々な使用済燃料のせん断粉末が含まれ、使用済燃料の種類（炉型）や燃焼度等が設定できない。このため、放射能の設定は再処理施設への受入れ前に必要な冷却期間（設計値）及び受入れ後の冷却期間を組み合わせ、核種崩壊生成計算コード（ORIGEN）により設定した（表-1 参照）。

##### ② 工程洗浄に伴う放射性廃棄物の放出割合

工程洗浄に伴い環境へ放出される放射性廃棄物は、過去の使用済燃料の再処理運転での放出割合をもとに求めた。工程洗浄のように一部の工程のみを稼働させた場合の放射性廃棄物の放出データを有していないことから、使用済燃料の再処理運転時に再処理工程全体を稼働させた場合の放出データから工程洗浄時の放出割合を設定した。

放射性気体廃棄物及び放射性液体廃棄物の環境への放出割合は、再処理運転（直近10回の再処理運転期間）で再処理した使用済燃料に含まれる主要な核種の放射エネルギー（ORIGEN 計算値）を入量とし、主排気筒（放射性気体廃棄物）又は海中放出管（放射性液体廃棄物）から放出した主要な核種の放出量を出量として、出量／入量の比を求めて最大値とした（表-2 及び表-3 参照）。

##### ③ せん断粉末の溶解に伴い環境へ放出される放射性廃棄物の放出量

「①せん断粉末の放射エネルギー」に「②工程洗浄に伴う放射性廃棄物の放出割合」を乗じたものをせん断粉末の処理に伴う再処理工程全体からの放射性廃棄物の放出量とした（表-4 及び表-5 参照）。

#### (3) 評価の保守性

○ 再処理事業指定申請書に定め許可を受け処理した使用済燃料のうち、主に核分裂生成物が多くなる軽水型原子炉使用済燃料（以下「PWR 燃料」という。）及びアクチニド核種が多くなる新型転換炉原型炉使用済燃料のウラン・プルトニウム混合酸化物燃料（以下「ふげん MOX タイプ B 燃料」という。）をもとに、評価に用いるせん断粉末の放射エネルギー等を設定した。以下の条件で PWR 燃料及びふげん MOX タイプ B 燃料の

ORIGEN 計算を行い、それぞれの計算結果を主要な核種ごとに比較し、放射エネルギーの大きい方の値を組み合わせて、せん断粉末に含まれる主要な核種の放射エネルギーとした(表-1 参照)。

- ・ 燃焼度：PWR 燃料は 35,000 MWD/t、ふげん MOX タイプ B 燃料は 20,000 MWD/t (東海再処理施設で取り扱える各燃料の最高燃焼度)
- ・ 冷却期間：PWR 燃料は 180 日<sup>※1</sup>+10 年<sup>※2</sup>、ふげん MOX タイプ B 燃料は 2 年<sup>※1</sup>+10 年<sup>※2</sup>

※1 再処理事業指定申請書に定める再処理施設への受入れ前に必要な冷却期間

※2 最後の再処理運転を行った 2007 年から現在 (2021 年) までの期間 (約 14 年) を踏まえて、冷却期間を 10 年間とし、主要な核種の放射エネルギーの減衰を考慮した。

- 使用済燃料に含まれる主要な核種のうち Kr-85 は、通常の再処理運転のせん断処理時に一部が主排気筒より大気中へ放出されることを確認している。本評価では、せん断に伴う放出を考慮せず、せん断粉末の溶解時に Kr-85 の全放射エネルギーが放出するものとした。
- 放射性液体廃棄物の H-3 は、再処理運転時に濃縮ウラン溶解槽 (242R12)、高放射性廃液蒸発缶 (271E20) 及び酸回収蒸発缶 (273E30) の加熱操作によって凝縮水 (低放射性廃液) へ移行することを確認している。工程洗浄では高放射性廃液蒸発缶 (271E20) 及び酸回収蒸発缶 (273E30) の加熱操作を行わず、濃縮ウラン溶解槽 (242R12) のみで加熱操作を行うため、再処理運転中よりも低放射性廃液への放出割合は低下することになるが、再処理運転時 (全蒸発缶稼働時) の放出割合を用いて放出量を求めた。

#### (4) 評価結果

##### 1) 放射性気体廃棄物の放出量

- ① 工程洗浄に伴い放出される放射性気体廃棄物の主要核種は、年間最大放出量を十分に下回る。また、Kr-85 及び H-3 については、廃止措置計画に定めた放出管理目標値も十分に下回ることを確認した (表-4 参照)。なお、I-131 についてはせん断粉末に含まれておらず、工程洗浄に伴う放出量はないものと考えられる。
- ② 工程洗浄に伴い放出される主要核種 (Kr-85, H-3, C-14 及び I-129) は、「工程洗浄に伴う放出量」と「再処理運転停止中の放出量」を核種ごとに比較するとともに、再処理運転停止中の放出量に工程洗浄に伴う放出量を加えて、工程洗浄に伴う放出量による影響を評価した (図-2 参照)。なお、Kr-85, C-14 及び I-129 は、再処理運転停止中に環境へ放出が認められていないことから、工程洗浄に伴う放出量のみの評価となる。

##### ○Kr-85

再処理運転の停止に伴い、保守作業等の一部の放出を除き再処理運転停止中はほとんど Kr-85 の放出がなくなる。工程洗浄時の Kr-85 の放出量は  $10^4$  GBq オーダーであり、その分、再処理運転停止中よりも高くなる (再処理運転時より 1 桁程

度低い。)。なお、仮に工程洗浄（放出量： $4.5 \times 10^4$  GBq）に合わせてクリプトン管理放出（放出量： $1 \times 10^6$  GBq）を行った場合でも、放出管理目標値（ $2.0 \times 10^6$  GBq）を超えることはない。

○H-3

再処理運転期間中は、ほぼ  $10^3 \sim 10^4$  GBq オーダーで推移し、再処理運転停止後、放出量は徐々に低下し直近では  $10^1 \sim 10^2$  GBq オーダーである。工程洗浄時の放出量（放出量： $2.8 \times 10^1$  GBq）は、再処理運転停止中と同じオーダーであり、2020年度の放出量に加算したとしても同程度の放出量であり影響はない。

○C-14, I-129

再処理運転の停止に伴い、ほとんど放出がなくなることから、C-14 及び I-129 は工程洗浄分の放出量が増加する（再処理運転時より 1～2 桁程度低い。）。

## 2) 放射性液体廃棄物の放出量

- ① 工程洗浄に伴い放出される放射性液体廃棄物の主要核種は、年間最大放出量を十分に下回る。また、H-3 については、廃止措置計画に定めた放出管理目標値も十分に下回ることを確認した（表-5 参照）。
- ② 工程洗浄に伴い放出される主要核種（H-3, I-129, Pu( $\alpha$ )) は、「工程洗浄に伴う放出量」と「再処理運転停止中の放出量」を核種ごとに比較するとともに、再処理運転停止中の放出量に工程洗浄に伴う放出量を加えて、工程洗浄に伴う放出量による影響を評価した（図-3 参照）。

○H-3, I-129 及び Pu ( $\alpha$ )

再処理運転停止中の放出量は、低放射性廃液の発生量等によりばらつきが生じる。再処理運転停止中の 2008～2020 年度の平均の放出量に工程洗浄分を加算したとしても、工程洗浄実施時の放出量は、いずれの核種も再処理運転停止中のばらつきの範囲内と推定できることから影響はない。

## 4. 放出に対する取組

工程洗浄における環境へ放出される放射性廃棄物について、せん断粉末の放射エネルギーの設定、Kr-85 のせん断粉末中への残存率、H-3 の放出割合等を保守的な条件に設定し、放射性気体及び液体廃棄物からの放出量の評価を行った。これらの評価の結果、放射性気体廃棄物の H-3、放射性液体廃棄物の H-3, I-129 及び Pu ( $\alpha$ ) は再処理運転停止中と同程度になると予想されるものの、放射性気体廃棄物の Kr-85, C-14 及び I-129 については、再処理運転停止中より放出量が増加すると予想される。

これらの放出に対する環境への影響を低減するための対応として、せん断粉末の溶解を複数回に分けて実施することにより、主排気筒から一度に放出される量を低減する対応を図る。また、使用する機器・設備の健全性確認を確実にを行うとともに、誤操作防止に係る教育等を実施し、異常な放出を防止するように取り組む。

以上

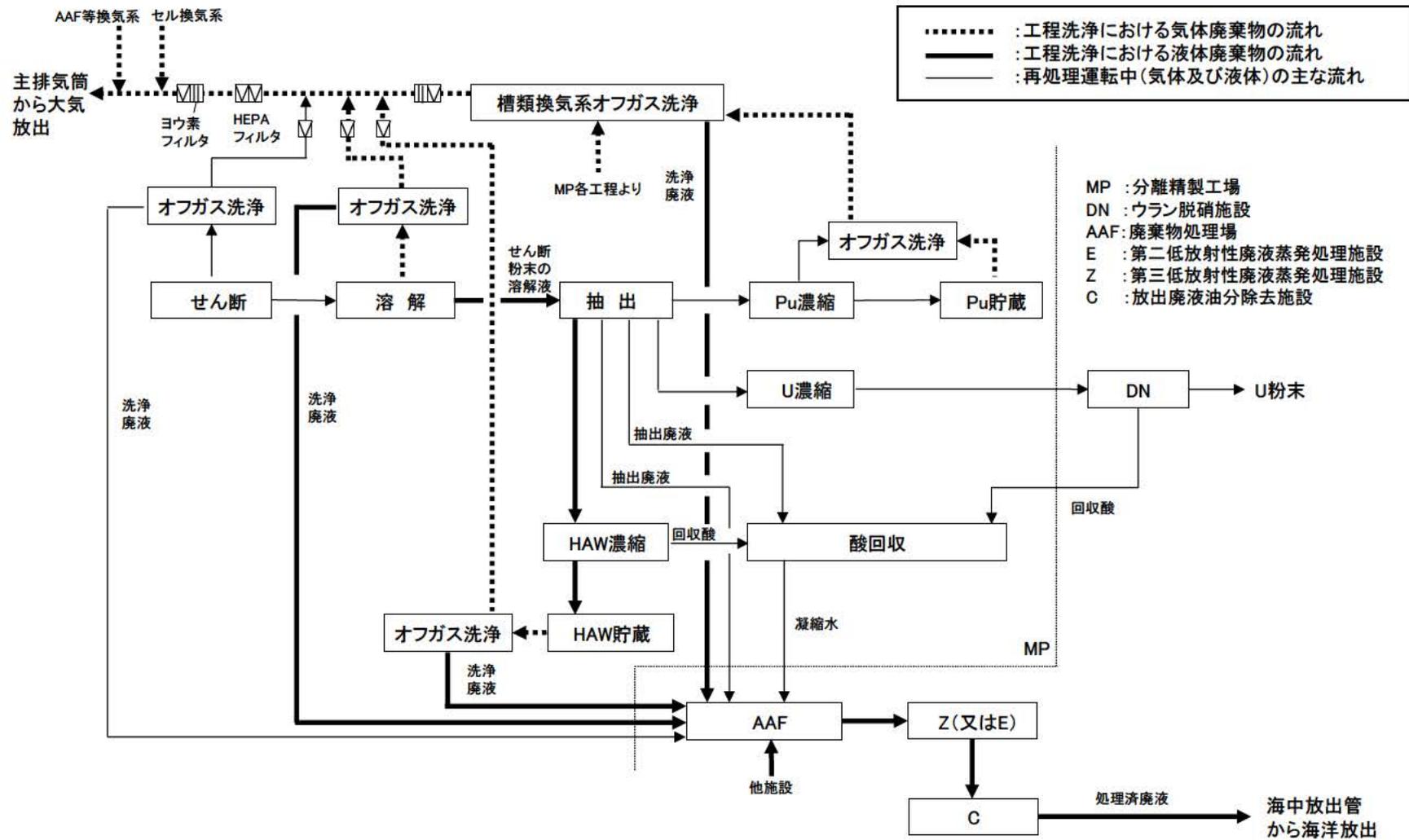


図-1 工程洗浄により発生する放射性廃棄物（気体及び液体）の主な流れ

表-1 せん断粉末に含まれる主要核種の放射エネルギーの設定

主要核種	ORIGEN 計算による放射エネルギー (GBq)		せん断粉末の放射エネルギー (GBq)
	PWR 燃料	ふげん MOX タイプ B 燃料	
Kr-85	$4.1 \times 10^4$	$1.9 \times 10^4$	$4.1 \times 10^4$
H-3	$2.5 \times 10^3$	$1.7 \times 10^3$	$2.5 \times 10^3$
C-14	5.6	$1.3 \times 10$	$1.3 \times 10$
I-129	$2.6 \times 10^{-1}$	$1.7 \times 10^{-1}$	$2.6 \times 10^{-1}$
I-131	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>
Sr-89	0 <sup>*1</sup>	$2.3 \times 10^{-14}$	$2.3 \times 10^{-14}$
Sr-90	$4.9 \times 10^5$	$2.1 \times 10^5$	$4.9 \times 10^5$
Zr-95	$1.2 \times 10^{-10}$	$8.4 \times 10^{-10}$	$8.4 \times 10^{-10}$
Nb-95	$2.6 \times 10^{-11}$	$1.9 \times 10^{-9}$	$1.9 \times 10^{-9}$
Ru-103	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>
Ru-106 Rh-106	$6.1 \times 10^3$	$1.2 \times 10^4$	$1.2 \times 10^4$
Cs-134	$4.0 \times 10^4$	$1.9 \times 10^4$	$4.0 \times 10^4$
Cs-137	$6.8 \times 10^5$	$4.1 \times 10^5$	$6.8 \times 10^5$
Ce-141	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>
Ce-144 Pr-144	$1.7 \times 10^3$	$2.7 \times 10^3$	$2.7 \times 10^3$
Pu (α)			

\*1 ORIGEN 計算上、 $10^{-24}$  g 以下の核種の放射エネルギーは「0」として取り扱う。

表-2 再処理運転実績から求めた放射性気体廃棄物に含まれる主要核種の放出割合

キャンペーン名	再処理量(tU)	①使用済燃料の放射能量(ORIGEN計算値)(GBq)					②主排気筒からの放出量(実測値)(GBq)					放出割合(②/①)				
		Kr-85	H-3	C-14	I-129	I-131	Kr-85	H-3	C-14	I-129	I-131	Kr-85	H-3	C-14	I-129	I-131
02-1 (2002.03~2002.06)	22.3	3.0E+06	1.9E+05	4.8E+02	1.8E+01	0.0E+00	2.3E+06	1.6E+03	8.7E+01	1.4E-02	微 <sup>※2</sup>	7.7E-01	8.4E-03	1.8E-01	7.9E-04	-
02-2 (2002.10~2002.11)	6.4	8.2E+05	5.4E+04	1.7E+02	6.3E+00	0.0E+00	8.8E+05	4.2E+02	2.7E+01	1.7E-02	微 <sup>※2</sup>	1.1E+00	7.7E-03	1.6E-01	2.7E-03	-
03-2 (2003.9~2003.11)	13.9	1.7E+06	1.1E+05	3.5E+02	1.3E+01	0.0E+00	1.6E+06	9.5E+02	4.7E+01	2.7E-02	微 <sup>※2</sup>	9.1E-01	8.5E-03	1.3E-01	2.1E-03	-
04-1 (2004.01~2004.06)	15.3 <sup>※1</sup>	1.7E+06	1.2E+05	4.7E+02	1.7E+01	0.0E+00	1.7E+06	1.2E+03	8.6E+01	4.7E-02	微 <sup>※2</sup>	9.8E-01	1.0E-02	1.8E-01	2.8E-03	-
04-2 (2004.10~2004.12)	10.2	1.7E+06	6.8E+04	2.1E+02	7.5E+00	0.0E+00	1.2E+06	6.3E+02	3.4E+01	3.1E-02	微 <sup>※2</sup>	7.1E-01	9.3E-03	1.7E-01	4.1E-03	-
05-1 (2005.02~2005.06)	26.9	3.2E+06	1.9E+05	5.8E+02	2.2E+01	0.0E+00	2.6E+06	1.7E+03	1.2E+02	9.9E-02	微 <sup>※2</sup>	8.1E-01	8.6E-03	2.1E-01	4.5E-03	-
05-2 (2005.10~2005.12)	13.2	1.3E+06	8.3E+04	3.2E+02	1.2E+01	0.0E+00	1.1E+06	5.1E+02	4.3E+01	5.5E-02	微 <sup>※2</sup>	8.3E-01	6.2E-03	1.4E-01	4.7E-03	-
06-1 (2006.02~2006.05)	20.9 <sup>※1</sup>	1.1E+06	7.2E+04	3.7E+02	1.4E+01	0.0E+00	1.2E+06	6.5E+02	9.7E+01	1.7E-01	微 <sup>※2</sup>	1.0E+00	9.1E-03	2.6E-01	1.2E-02	-
06-2 (2006.11~2006.12)	5.21	6.2E+05	3.6E+04	9.6E+01	3.2E+00	0.0E+00	5.4E+05	3.9E+02	2.0E+01	2.8E-02	微 <sup>※2</sup>	8.7E-01	1.1E-02	2.1E-01	8.7E-03	-
07-1 (2007.02~2007.04)	11.7 <sup>※1</sup>	7.9E+05	7.3E+04	1.9E+02	7.8E+00	0.0E+00	6.6E+05	6.6E+02	1.8E+01	2.8E-02	微 <sup>※2</sup>	8.3E-01	9.0E-03	9.6E-02	3.6E-03	-
											最大値	1.1E+00	1.1E-02	2.6E-01	1.2E-02	-

※1:ATR-MOX燃料を含む。

※2:「微」は定量下限値未満であることを示す。

表-3 再処理運転実績から求めた放射性液体廃棄物に含まれる主要核種の放出割合

年	キャンペーン名 (期間)	①使用済燃料の放射能(ORIGEN計算値)(GBq)													
		H-3	Sr-89	Sr-90	Zr-95	Nb-95	Ru-103	Ru-106 Rh-106	Cs-134	Cs-137	Ce-141	Ce-144 Pr-144	I-129	I-131	Pu(α)
2002年	02-1キャンペーン (2002.03~2002.06)	2.4E+05	2.2E-01	4.4E+07	1.4E+01	3.2E+01	3.6E-03	6.2E+06	7.4E+06	6.3E+07	4.9E-05	4.3E+06	2.4E+01	0.0E+00	
	02-2キャンペーン (2002.10~2002.11)														
2003年	03-2キャンペーン (2003.9~2003.11)	1.1E+05	1.4E-12	2.3E+07	3.6E-08	8.0E-08	7.9E-17	2.9E+05	1.5E+06	3.2E+07	1.6E-20	7.9E+04	1.3E+01	0.0E+00	
2004年	04-1キャンペーン (2004.01~2004.06)	1.8E+05	6.9E-04	3.8E+07	2.7E-01	5.9E-01	1.0E-06	3.7E+06	4.1E+06	5.5E+07	1.2E-09	2.5E+06	2.4E+01	0.0E+00	
	04-2キャンペーン (2004.10~2004.12)														
2005年	05-1キャンペーン (2005.02~2005.06)	2.8E+05	1.4E-01	5.6E+07	1.6E+01	3.6E+01	1.1E-03	6.9E+06	6.4E+06	7.9E+07	5.9E-06	5.3E+06	3.2E+01	0.0E+00	
	05-2キャンペーン (2005.10~2005.12)														
2006年	06-1キャンペーン (2006.2~2006.5)	1.1E+05	1.4E-01	2.6E+07	1.2E+01	2.7E+01	1.3E-03	1.9E+06	1.5E+06	3.6E+07	1.0E-05	1.9E+06	1.6E+01	0.0E+00	
	06-2キャンペーン (2006.11~2006.12)														
2007年	07-1キャンペーン (2007.2~2007.04)	5.5E+04	6.7E-02	9.4E+06	7.4E+00	1.7E+01	4.0E-04	2.2E+06	1.3E+06	1.5E+07	2.3E-06	2.5E+06	6.9E+00	0.0E+00	

年	キャンペーン名 (期間)	②海中放出管からの放出量(実測値)(GBq)														
		H-3	Sr-89	Sr-90	Zr-95	Nb-95	Ru-103	Ru-106 Rh-106	Cs-134	Cs-137	Ce-141	Ce-144 Pr-144	I-129	I-131	Pu(α)	
2002年	02-1キャンペーン (2002.03~2002.06)	8.1E+04	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	6.0E-03	微 <sup>※1</sup>						
	02-2キャンペーン (2002.10~2002.11)															
2003年	03-2キャンペーン (2003.9~2003.11)	5.4E+04	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	6.7E-03	微 <sup>※1</sup>						
2004年	04-1キャンペーン (2004.01~2004.06)	8.2E+04	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	1.9E-02	微 <sup>※1</sup>						
	04-2キャンペーン (2004.10~2004.12)															
2005年	05-1キャンペーン (2005.02~2005.06)	1.4E+05	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	6.6E-03	微 <sup>※1</sup>						
	05-2キャンペーン (2005.10~2005.12)															
2006年	06-1キャンペーン (2006.2~2006.5)	4.9E+04	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	1.3E-02	微 <sup>※1</sup>						
	06-2キャンペーン (2006.11~2006.12)															
2007年	07-1キャンペーン (2007.2~2007.04)	2.1E+04	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	微 <sup>※1</sup>	1.2E-02	微 <sup>※1</sup>						

※1:「微」は定量下限値未満であることを示す

年	キャンペーン名 (期間)	放出割合(②/①)														
		H-3	Sr-89	Sr-90	Zr-95	Nb-95	Ru-103	Ru-106 Rh-106	Cs-134	Cs-137	Ce-141	Ce-144 Pr-144	I-129	I-131	Pu(α)	
2002年	02-1キャンペーン (2002.03~2002.06)	3.3E-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5E-04	-	
	02-2キャンペーン (2002.10~2002.11)															
2003年	03-2キャンペーン (2003.9~2003.11)	4.9E-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.1E-04	-	
2004年	04-1キャンペーン (2004.01~2004.06)	4.5E-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.8E-04	-	
	04-2キャンペーン (2004.10~2004.12)															
2005年	05-1キャンペーン (2005.02~2005.06)	4.9E-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0E-04	-	
	05-2キャンペーン (2005.10~2005.12)															
2006年	06-1キャンペーン (2006.2~2006.5)	4.5E-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.0E-04	-	
	06-2キャンペーン (2006.11~2006.12)															
2007年	07-1キャンペーン (2007.2~2007.04)	3.9E-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8E-03	-	

最大値	4.9E-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8E-03	-	
-----	---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---------	---	--

表-4 工程洗浄に伴う放射性気体廃棄物の主要核種の放出量

主要核種	①せん断粉末に含まれる主要核種の放射エネルギー (GBq)	②過去の再処理運転実績を踏まえた放出割合 (最大値)	③せん断粉末の溶解に伴う主排気筒からの放出量 (GBq) (①×②)	年間最大放出量*2 (放出管理目標値*3) (GBq/年)
Kr-85	$4.1 \times 10^4$	1.1	$4.5 \times 10^4$ $9.5 \times 10^5$ *4	$8.9 \times 10^7$ ( $2.0 \times 10^6$ )
H-3	$2.5 \times 10^3$	$1.1 \times 10^{-2}$	$2.8 \times 10$	$5.6 \times 10^5$ ( $1.0 \times 10^4$ )
C-14	$1.3 \times 10$	$2.6 \times 10^{-1}$	3.4	$5.1 \times 10^3$
I-129	$2.6 \times 10^{-1}$	$1.2 \times 10^{-2}$	$3.1 \times 10^{-3}$	1.7
I-131	0*1	-	微*5	$1.6 \times 10$

「-」：放出実績なし

\*1 放射エネルギーが極めて小さいことから、評価上0として取り扱う。

\*2 再処理事業指定申請書に定める年間最大放出量

\*3 廃止措置計画変更認可申請書（平成30年6月認可）の放出管理目標値

\*4 工程洗浄に合わせてクリプトン管理放出を実施した場合の放出量

\*5 評価期間中における再処理運転での放出実績はないことから、定量下限値未満の放出量があるものとして「微」として取り扱う。

表-5 工程洗浄に伴う放射性液体廃棄物の主要核種の放出量

主要核種	①せん断粉末に含まれる主要核種の放射エネルギー (GBq)	②過去の再処理運転実績を踏まえた放出割合 (最大値)	③海洋放出量 (GBq) (①×②)	年間最大放出量* <sup>2</sup> (放出管理目標値* <sup>3</sup> ) (GBq/年)
H-3	$2.5 \times 10^3$	$4.9 \times 10^{-1}$	$1.2 \times 10^3$	$1.9 \times 10^6$ ( $4.0 \times 10^4$ )
Sr-89	$2.3 \times 10^{-14}$	-	微* <sup>4</sup>	$1.6 \times 10$
Sr-90	$4.9 \times 10^5$	-	微* <sup>4</sup>	$3.2 \times 10$
Zr-95 Nb-95	$2.7 \times 10^{-9}$	-	微* <sup>4</sup>	$4.1 \times 10$
Ru-103	0* <sup>1</sup>	-	微* <sup>4</sup>	$6.4 \times 10$
Ru-106 Rh-106	$1.2 \times 10^4$	-	微* <sup>4</sup>	$5.1 \times 10^2$
Cs-134	$4.0 \times 10^4$	-	微* <sup>4</sup>	$6.0 \times 10$
Cs-137	$6.8 \times 10^5$	-	微* <sup>4</sup>	$5.5 \times 10$
Ce-141	0* <sup>1</sup>	-	微* <sup>4</sup>	5.9
Ce-144 Pr-144	$2.7 \times 10^3$	-	微* <sup>4</sup>	$1.2 \times 10^2$
I-129	$2.6 \times 10^{-1}$	$1.8 \times 10^{-3}$	$4.7 \times 10^{-4}$	$2.7 \times 10$
I-131	0* <sup>1</sup>	-	微* <sup>4</sup>	$1.2 \times 10^2$
Pu (α)				

「-」：放出実績なし

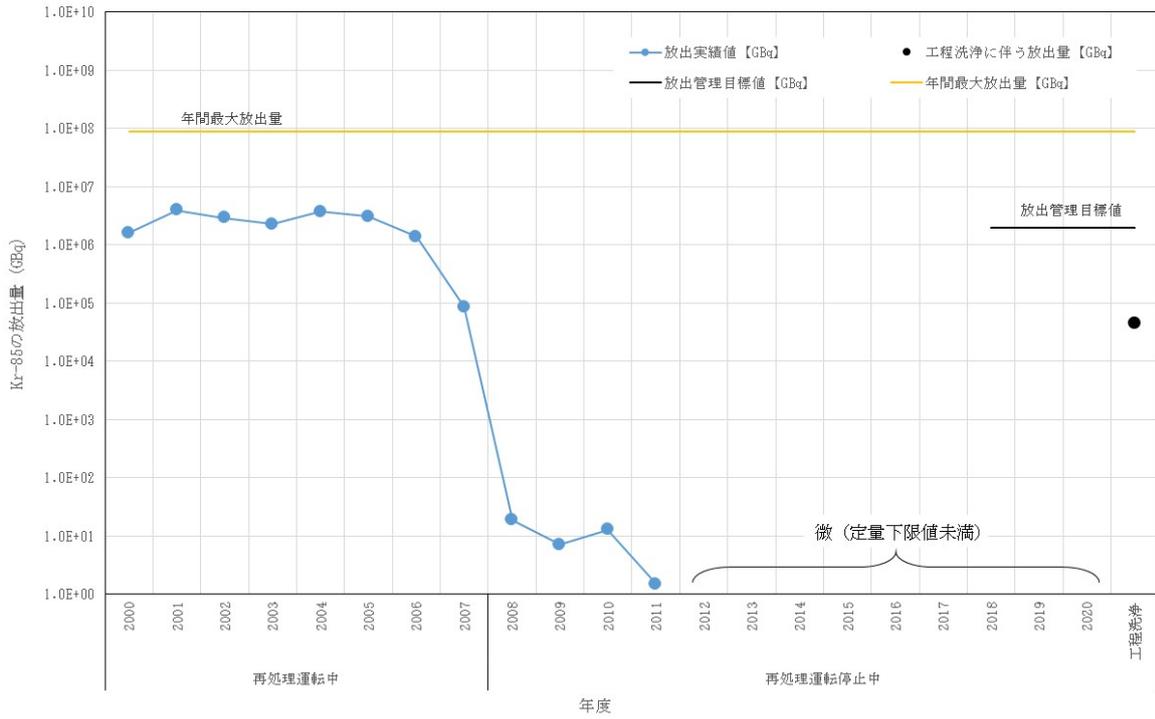
\*1 放射エネルギーが極めて小さいことから、評価上0として取り扱う。

\*2 再処理事業指定申請書に定める年間最大放出量

\*3 廃止措置計画変更認可申請書（平成30年6月認可）の放出管理目標値

\*4 評価期間中における再処理運転での放出実績はないことから、定量下限値未満の放出量があるものとして「微」として取り扱う。

Kr-85



H-3

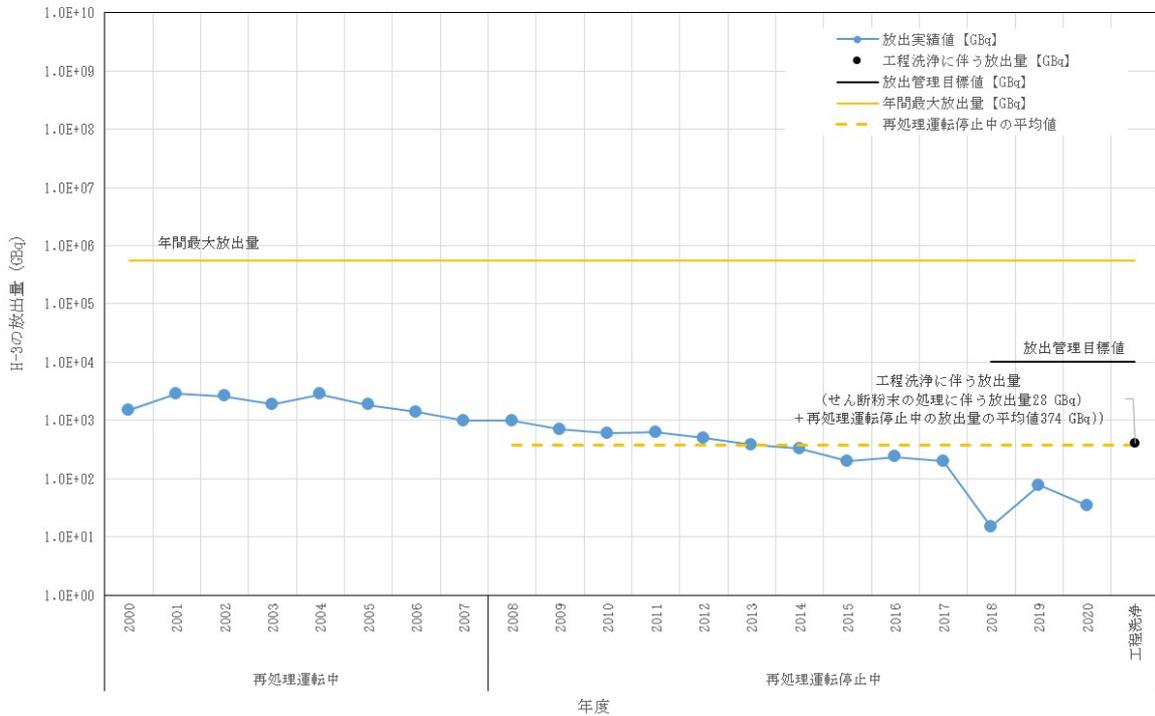
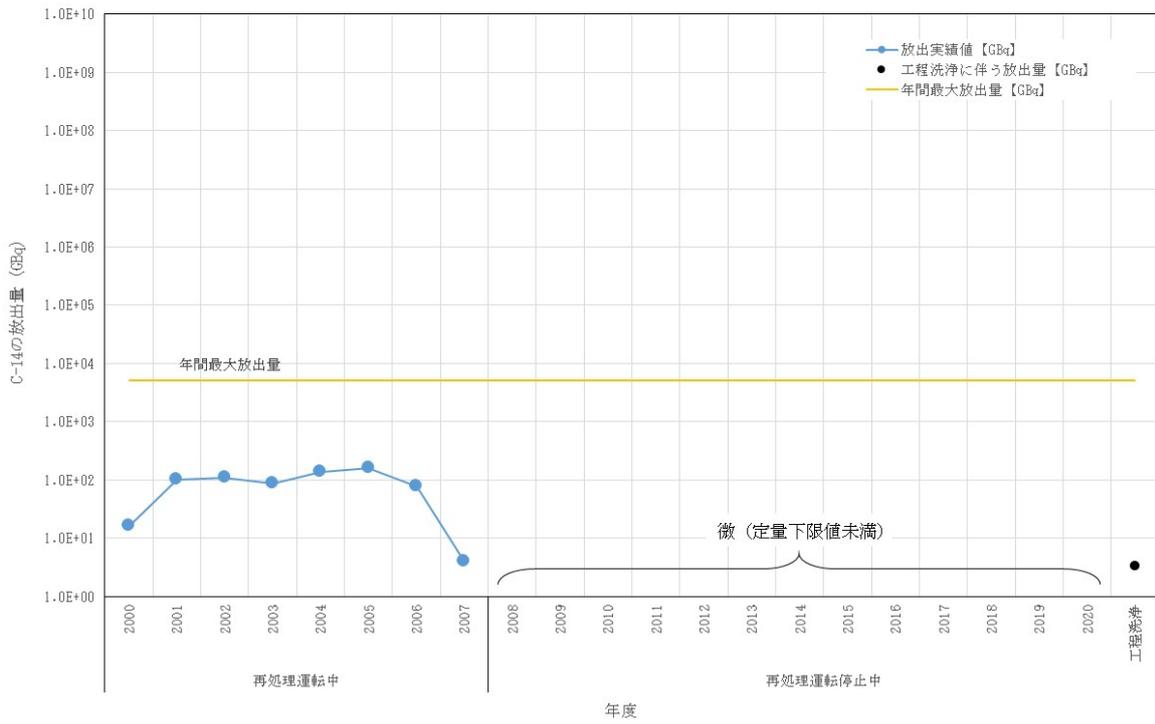


図-2 放射性気体廃棄物の放出量 (Kr-85, H-3)

C-14



I-129

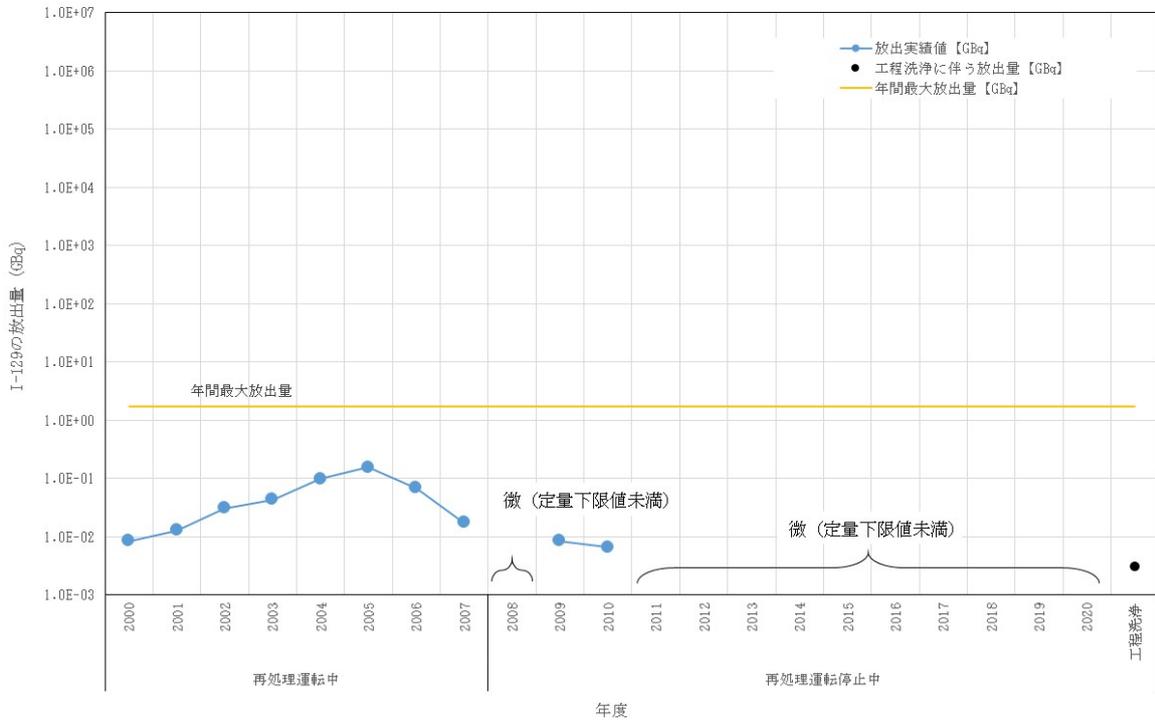
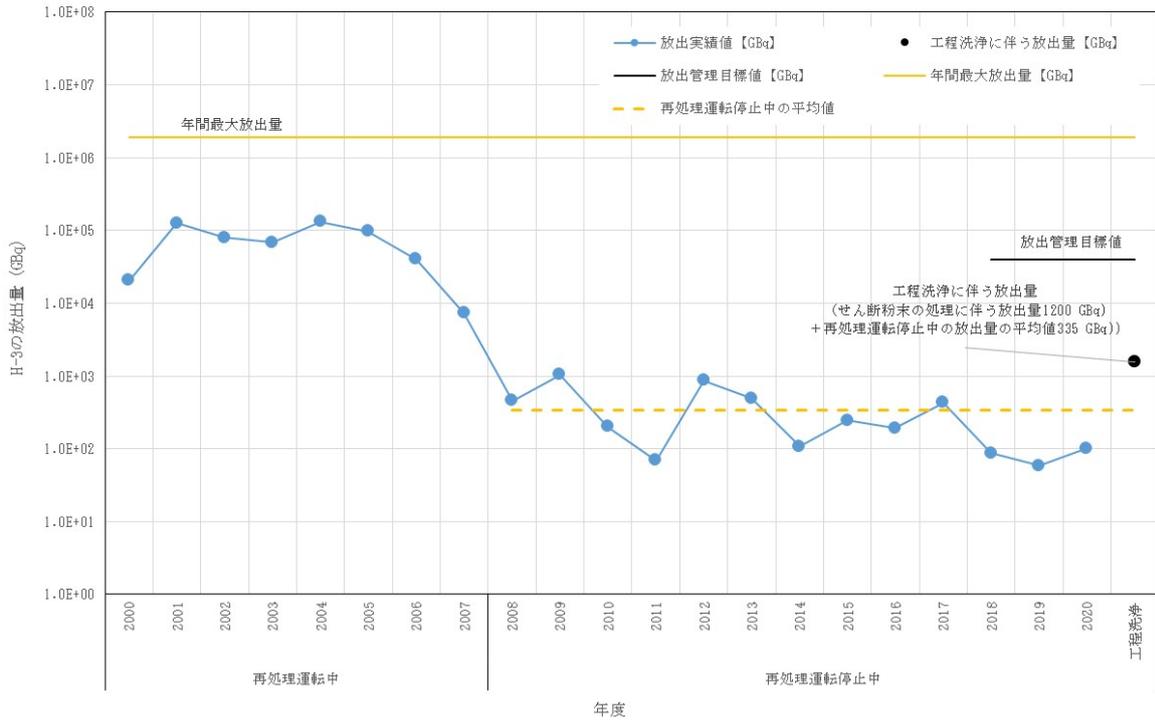


図-2 放射性気体廃棄物の放出量 (C-14, I-129)

H-3



I-129

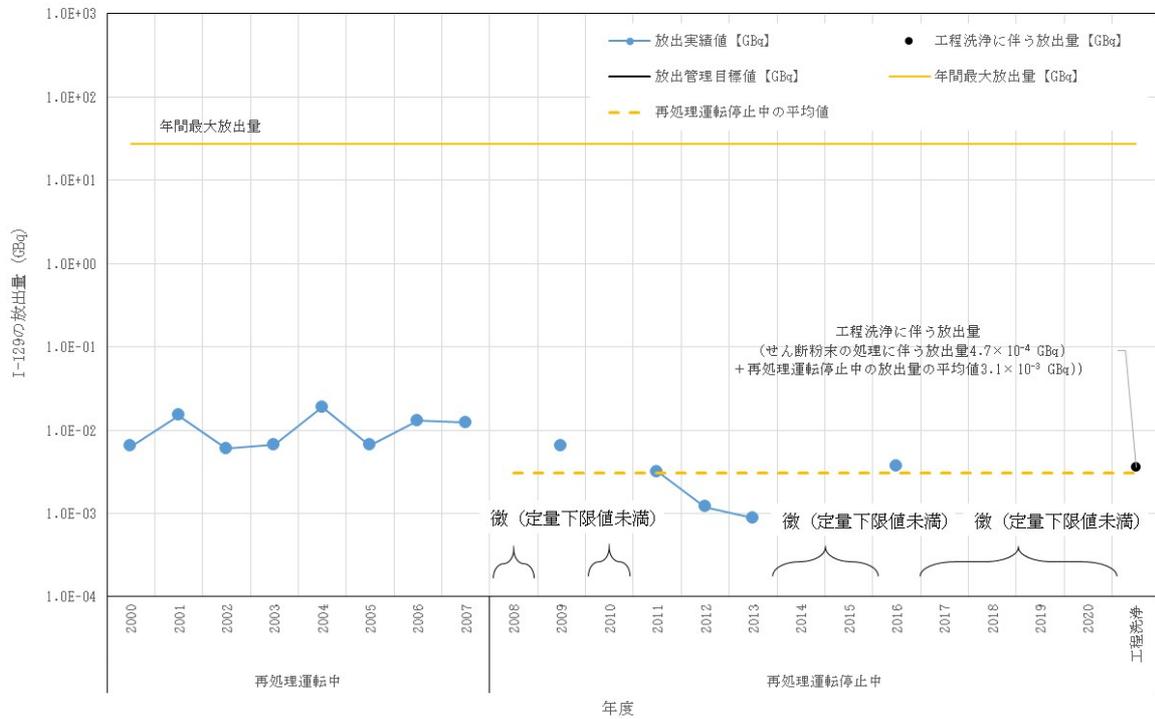


図-3 放射性液体廃棄物の放出量 (H-3, I-129)

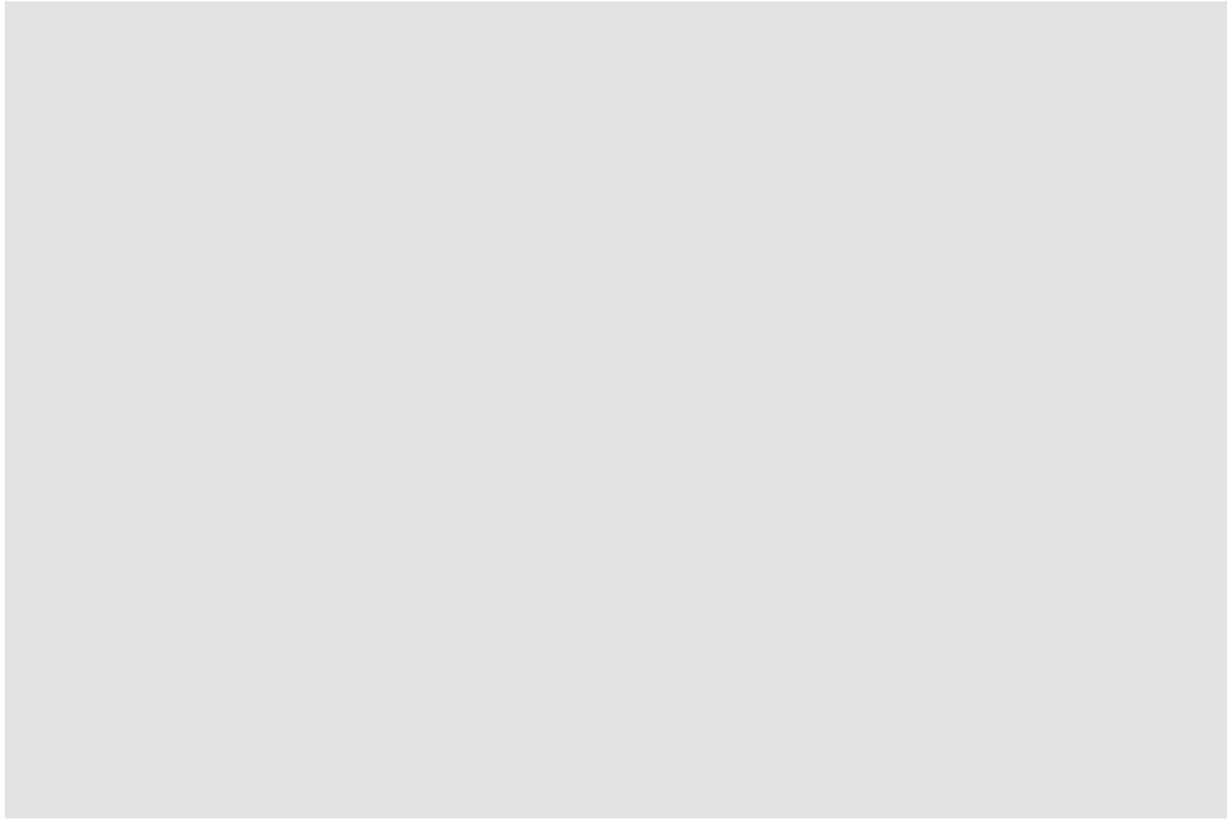


図-3 放射性液体廃棄物の放出量 (Pu( $\alpha$ ))

## 工程洗浄時の施設の安全性

## 1. 概要

工程洗浄では既存の設備・機器を使用し、設備の新規設置や改造は行わず、回収可能核燃料物質の取出しは既設の安全設計の範囲で実施する。このため、再処理設備本体等からの回収可能核燃料物質の取出しに用いる送液経路の安全性の確認は、過去に発生した不具合や故障等から工程洗浄時に想定される不具合事象を抽出し、復旧方法等を整理した。

## 2. 評価結果

### 1) 送液経路の安全性

回収可能核燃料物質を保有する機器及びそれらの取出し経路の機器は、臨界安全が担保された機器であり臨界のおそれはない。また、取出し経路ではない機器への誤操作（誤送液）を想定しても臨界のおそれはなく、送液経路の安全性に問題はない（詳細は別紙 5-1「工程洗浄により回収可能核燃料物質を取り出す送液経路の安全性について」参照）。

### 2) 工程洗浄で想定される不具合事象及び復旧方法

回収可能核燃料物質の取出しに用いる機器に対して、過去に経験した不具合や故障等から、工程洗浄の際に発生する可能性のある不具合事象を抽出し、復旧方法及び復旧に要する期間を整理した。

工程洗浄の際に発生する可能性のある不具合事象としては、機器の動作不良、腐食故障に伴う漏えい等が想定される。機器の動作不良に対しては、予備機への切替え、予備品への交換又は機器の補修により短期間（7日程度）で復旧可能であり施設の安全性を維持できる（詳細については別紙 5-2「工程洗浄において想定される不具合事象とその対処方法について」参照）。

また、漏えい事象が生じたとしても、漏えい液はドリップトレイ等で安全に保持され、ドリップトレイに設置した漏えい検知装置等により速やかに検知可能であり、安全に回収できる設計であることから、安全性に問題はない（詳細については別紙 5-3「漏えいに対する安全性」参照）。

上記のとおり、既設の安全設計で十分対応可能であるものの、仮に工程洗浄の対象機器の崩壊熱除去機能の喪失が継続したとしても、内包する回収可能核燃料物質を含む溶液が沸騰するには32日程度（断熱評価）、水素掃気機能の喪失が継続したとしても、機器内が水素の爆発下限界濃度に到達するまで15日程度（インベントリを保守的に設定して評価）の時間余裕があり、崩壊熱除去機能及び水素掃気機能を復旧するまでの時間に対して十分な時間余裕がある（詳細については参考資料1「工程洗浄における崩壊熱除去機能及び水素掃気機能喪失時の影響評価について」参照）。

工程洗浄により回収可能核燃料物質を取り出す  
送液経路の安全性について

## 1. 概要

工程洗浄で、せん断粉末の溶解液、低濃度のプルトニウム溶液、ウラン溶液（ウラン粉末を含む。）及びその他の核燃料物質（工程内の洗浄液等）を放射性液体廃棄物又は製品として取り出す。工程洗浄に用いる機器は、臨界管理（形状、濃度又は質量）しており、濃度又は質量の臨界管理値を下回ることを確認することにより臨界安全上問題ないこと及び送液経路において誤操作を想定しても臨界安全を確保できることを確認した。

また、工程洗浄では、せん断粉末の溶解液及び低濃度のプルトニウム溶液を通常使用しない経路を用いて送液を行うことから、要領書等の見直し等が必要な操作についても確認した。

## 2. 工程洗浄に用いる機器の臨界安全性

### (1) せん断粉末の溶解液の取出しに用いる機器（図-2-1 参照）

濃縮ウラン溶解槽（242R12）でのせん断粉末の溶解量は1バッチ当たり30 kg以下とする。仮にせん断粉末を一度に全量装荷したとしても濃縮ウラン溶解槽（242R12）の設計値（400 kgU/バッチ）に対して十分に少なく、安全上の問題はない。

濃縮ウラン溶解槽（242R12）のせん断粉末の溶解液のウラン濃度は、せん断粉末の1バッチ当たりの溶解量約30 kgU及び液量（850 L）から最大約40 gU/Lとなる。せん断粉末の溶解液のウラン濃度は、溶解槽溶液受槽（243V10）へ送液し、溶解槽溶液受槽（243V10）にあらかじめ供給しておく硝酸（300 L）と混合して約26 gU/L程度となる。

これは、再処理運転時の使用済燃料の溶解液のウラン濃度約500 gU/L及び清澄工程の調整槽（251V10）の制限値（240 gU/L）よりも十分に低く、使用済燃料の溶解液が通過する機器において臨界安全上の問題はない。

再処理運転時に使用済燃料の溶解液が通過しない機器としては、希釈剤洗浄器（252R10）、高放射性廃液中間貯槽（252V14）、高放射性廃液蒸発缶（271E20）、中間貯槽（272V37又はV38）及び高放射性廃液貯槽（272V31～V35）があるものの、これらについても、通過するせん断粉末の溶解液のウラン濃度約26 gU/Lが、無限体系の最小臨界濃度（340 gU/L）に比べてはるかに小さいことから、臨界安全上の問題はない。

また、せん断粉末の溶解液の誤移送及び溢流を想定しても、誤移送を防止するための施錠弁が設置されていること、誤移送等による送液先の機器が臨界管理（形状、濃度又は質量）されていること及び無限体系の最小臨界濃度を超えないことから臨界安全上の問題はない。

### (2) 低濃度のプルトニウム溶液の取出しに用いる機器（図-2-2 参照）

分離精製工場（MP）のプルトニウム製品貯槽（267V10～V16）に貯蔵しているプルトニウム溶液及び希釈槽（266V13）に保有しているウラン及びプルトニウム混合溶液（以下「低濃度のプルトニウム溶液」という。）は、リワーク工程の中間貯槽（276V12～V15）にそれぞれ送液し、ウラン溶液と混合して高放射性廃液貯蔵場（HAW）の高放射性廃液貯槽（272V31～V35）に送液する。

低濃度のプルトニウム溶液は、プルトニウム溶液系及びウラン溶液系の臨界管理の機器を経由して送液するため送液経路の機器の臨界安全性について文献<sup>1)</sup>の臨界評価結果を参考に評価した。

その結果、低濃度のプルトニウム溶液の送液経路の機器及びそれらを送液する高放射性廃液貯槽(272V31~V35)は無限実効増倍率( $k_{\infty}$ )が0.75未満となり、臨界安全上の問題はない(別紙5-1-1「低濃度のプルトニウム溶液の取出しに係る臨界安全性」参照)。

なお、プルトニウム溶液は蒸気を用いた送液装置(スチームジェット)による送液時に酸濃度低下及び温度上昇に伴いプルトニウムポリマー(沈殿物)が生成する可能性があるものの、ウランを混合することでプルトニウムポリマー生成が抑制されるため、臨界安全上の問題はない(別紙5-1-2「低濃度のプルトニウム溶液をスチームジェットで送液した場合のプルトニウムポリマー生成について」参照)。

(3) ウラン溶液(低濃度のプルトニウム溶液と混合するものを除く。)及びその他の核燃料物質(工程内の洗浄液等)を取り扱う機器

分離精製工場(MP)及びウラン脱硝施設(DN)のウラン溶液は、通常の運転操作と同じ送液経路で取出しを行う。これら送液経路の機器は、臨界管理(形状、濃度又は質量)されていることから、臨界安全上の問題はない。プルトニウム転換技術開発施設(PCDF)のウラン溶液( )については、ウランの最小臨界質量58 kgU(均質系 $UO_2-H_2O$ 、濃縮度4%)未満であり、手持ち運搬による臨界安全上の問題はない。

その他の核燃料物質(工程内の洗浄液等)は、せん断粉末の溶解液のウラン濃度等より低いこと、せん断粉末の溶解液等の取出しに用いない機器も、通常の運転時の送液経路で取出しを行うことから臨界安全上の問題はない。

3. 工程洗浄に伴い要領書等の見直し等が必要な操作

再処理施設は、アスファルト事故後の安全性確認作業<sup>2)</sup>で、各工程の事故の発生防止策に対して妥当性を確認するとともに、必要に応じて運転要領書の改訂及び設備を改善している。

工程洗浄は再処理運転時の操作を踏襲するものの、せん断粉末及び低濃度のプルトニウム溶液の取出し時に一部で通常とは異なる送液経路があり、それらに対して運転要領書及び操作手順書の有無を確認した。運転要領書及び操作手順書の改訂等が必要な操作について以下に示す。

(1) せん断粉末の濃縮ウラン溶解槽(242R12)への直接装荷

通常、せん断機によりせん断された使用済燃料は、分配器(せん断機シュートを含む。)を経由して濃縮ウラン溶解槽(242R12)の燃料装荷バスケットに装荷される。

工程洗浄では、濃縮ウラン溶解槽装荷セル(R131)において、せん断粉末を遠隔操作(セル内クレーン、マニプレーター等の操作)にて濃縮ウラン溶解槽(242R12)のバレル部上部から燃料装荷バスケットへ直接装荷する。

当該作業については運転要領書の改訂及び操作手順の制定が必要であり、せん断粉

末の溶解量 (30 kg/バッチ) については再処理施設保安規定に定める。

- (2) 高放射性廃液蒸発缶 (271E20) から高放射性廃液貯蔵場 (HAW) への直接送液  
(271E20→272V37, V38→272V31～V35)

再処理運転時、高放射性廃液は、分離精製工場 (MP) の高放射性廃液蒸発缶 (271E20) から分離精製工場 (MP) の高放射性廃液貯槽 (272V14 又は V16) に送液する。その後、高放射性廃液貯槽 (272V14 又は V16) から高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の中間貯槽 (272V37 又は V38) を経由し、高放射性廃液貯槽 (272V31～V35) へ送液する。

せん断粉末の溶解液等は、ガラス固化技術開発施設 (TVF) の運転への影響を極力小さくするため、高放射性廃液貯槽 (272V14 又は V16) の希釈した高放射性廃液と混合せずに、高放射性廃液蒸発缶 (271E20) から直接中間貯槽 (272V37 又は V38) を経由して高放射性廃液貯槽 (272V31～V35) に送液する。当該送液操作については、アスファルト事故後の安全性確認作業における評価\*を踏まえて保安規定で禁止している。工程洗浄で取り出すせん断粉末の溶解液等は放射性物質濃度が低いこと、また核分裂生成物の崩壊等が進んでいることから、設計条件の高放射性濃縮廃液の発熱量と比較して十分低く、時間裕度を確保できるため、運転要領書等の改訂及び再処理施設保安規定の変更等を行い、当該送液操作を行う。

\* 施設の設計条件 (PWR 基準燃料, 冷却日数 180 日, 0.7 tU/日の再処理運転) において、高放射性廃液蒸発缶 (271E20) の濃縮した高放射性廃液を高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の中間貯槽 (272V37 又は V38) に受け入れた際に全交流電源が喪失すると中間貯槽 (272V37 又は V38) の水素濃度が約 6.3 時間で水素の爆発下限界の 4%に到達する。

- (3) 中間貯槽 (276V12-V15) での低濃度のプルトニウム溶液とウラン溶液の混合

プルトニウム溶液受槽 (276V20) から中間貯槽 (276V12-V15) 及び受槽 (276V10) から希釈剤洗浄器 (252R10) の送液に係る操作手順書の送液基準の見直し並びに希釈剤洗浄器 (252R10) のみを稼働させる操作手順及びウラン溶液の受流槽 (201V75) から中間貯槽 (276V12-V15) の送液に係る操作手順の新規制定が必要であることを確認した。なお、それらの操作及び中間貯槽 (276V12-V15) でのウラン/プルトニウム比を使用済燃料の溶解液相当に調整する操作は運転要領書に新たに記載する。また、調整目標とするウラン/プルトニウム比 (70 以上\*) は、管理値として再処理施設保安規定に定める。

\* 核燃料サイクル工学研究所 再処理施設での直近のキャンペーン (2007 年 2 月～5 月) で処理したふげん MOX-B 燃料の中で、調整槽 (251V10) の計量分析値から求めたウラン/プルトニウム比の最小値 (約 59) から、ウラン/プルトニウム比を 70 として設定

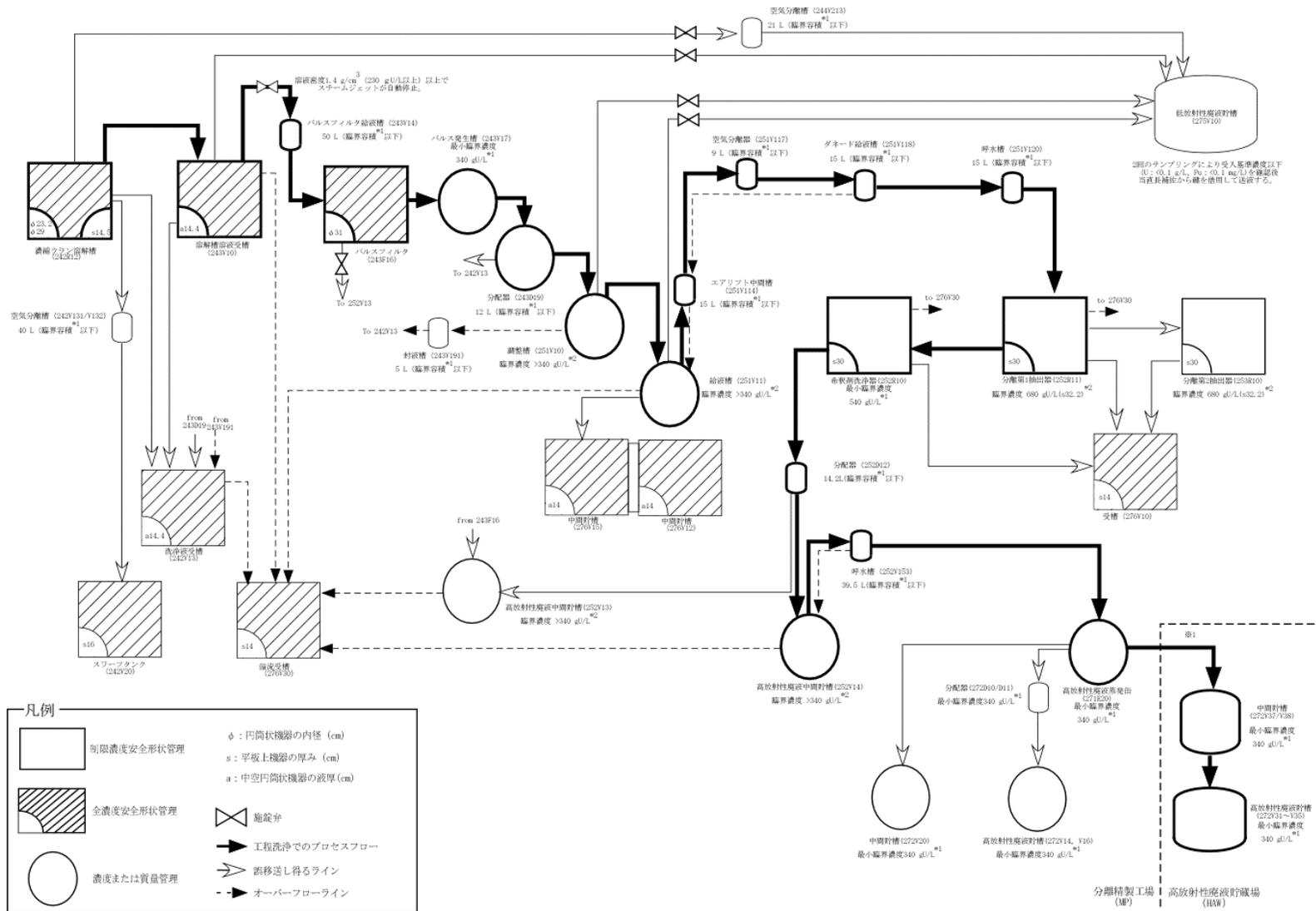
- (4) プルトニウム転換技術開発施設 (PCDF) から分離精製工場 (MP) へのウラン溶液の払出し

プルトニウム転換技術開発施設 (PCDF) の硝酸ウラニル貯槽 (P11V14) から分離精製工場 (MP) の一時貯槽 (263V51～V58) への払出しは、運転要領書の改訂、操作手順

の制定及び再処理施設保安規定の変更を行う。

参考文献

- 1) 「次世代再処理施設の設計検討に供する臨界安全制限寸法等データ」(須藤他 2011)  
JAEA-Data-Code-2011-021
- 2) 「東海再処理施設の安全性確認に関する報告書」, 核燃料サイクル機構, 平成 11 年 2 月

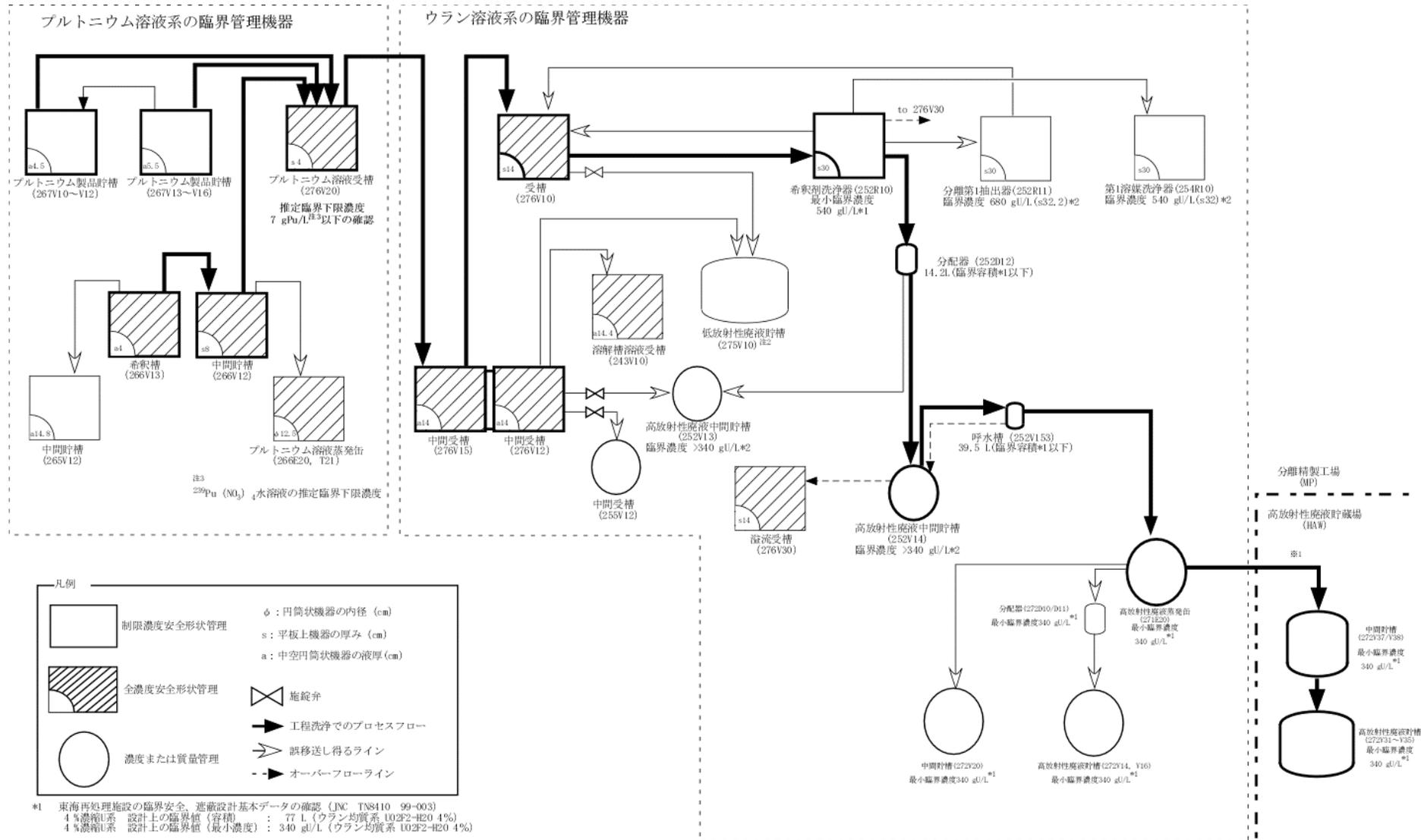


\*1 東海再処理施設の臨界安全、遮蔽設計基本データの確認 (JNC T8410 99-003)  
 4 %濃縮U系 設計上の臨界値 (容積) : 77 L (ウラン均質系 UO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 4%)  
 4 %濃縮U系 設計上の臨界値 (最小濃度) : 340 g/L (ウラン均質系 UO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 4%)

\*2 再処理事業指定申請書に記載のある臨界濃度

※1 : 保安規定の改訂、運転要領書の新規制定が必要な操作

図-2-1 せん断粉末の溶解液の移送経路及び臨界管理系統図



※1: 保安規定の改訂、運転要領書の新規制定が必要な操作

図-2-2 低濃度のプルトニウム溶液の移送経路及び臨界管理系統図

低濃度のプルトニウム溶液の取出しに係る臨  
界  
安全性

## 1. 概要

工程洗浄は、分離精製工場（MP）のプルトニウム製品貯槽（267V10～V16）に保有している低濃度のプルトニウム溶液及び希釈槽（266V13）に貯蔵しているウラン及びプルトニウム混合溶液（以下「低濃度のプルトニウム溶液」という。）をリワーク工程の中間貯槽（276V12～V15）にそれぞれ送液し、ウラン溶液と混合して高放射性廃液貯蔵場（HAW）の高放射性廃液貯槽（272V31～V35）に送液する。

低濃度のプルトニウム溶液は、プルトニウム溶液系及びウラン溶液系の臨界管理の機器を経由して取り出すため送液経路の機器の臨界安全性を評価した。

その結果、低濃度のプルトニウム溶液の送液経路の機器及びそれらを送液する高放射性廃液貯槽（272V31～V35）は無限実効増倍率（ $k_{\infty}$ ）が0.75未満となり、臨界安全上の問題はない。

## 2. 低濃度のプルトニウム溶液の取出し方法

低濃度のプルトニウム溶液の取出し方法を以下に示す（図 2-1 参照）。

- ① 分離精製工場（MP）のプルトニウム製品貯槽（267V10～V16）及び希釈槽（266V13）の低濃度のプルトニウム溶液は、プルトニウム溶液受槽（276V20）へ送液し、プルトニウム濃度等を分析する。
- ② 調整用のウラン溶液は分離精製工場（MP）の貯槽（201V77）からウラン調整槽（201V70）及び受流槽（201V75）を経由して中間貯槽（276V12～V15）へ送液し、ウラン濃度を分析する。
- ③ 分離精製工場（MP）のプルトニウム溶液受槽（276V20）の低濃度のプルトニウム溶液を中間貯槽（276V12～V15）へ送液し、②であらかじめ受け入れていた調整用のウラン溶液と混合する。
- ④ 低濃度のプルトニウム溶液及び調整用のウラン溶液の混合液（以下「混合液」という。）は、分析によりウラン濃度及びプルトニウム濃度を確認し、ウラン/プルトニウム比がふげん MOX タイプ B 燃料のウラン/プルトニウム比（70）以上であることを確認する。
- ⑤ 混合液は、分離精製工場（MP）の中間貯槽（276V12～V15）から受槽（276V10）、希釈剤洗浄器（252R10）、高放射性廃液中間貯槽（252V14）、高放射性廃液蒸発缶（271E20）及び高放射性廃液貯蔵場（HAW）の中間貯槽（272V37 又は V38）を経由し、高放射性廃液貯槽（272V31～V35）へ送液する。この際、高放射性廃液蒸発缶（271E20）での蒸発濃縮は行わない。

## 3. 臨界安全性の評価

### 3.1 評価方法

再処理設備本体等から取り出す低濃度のプルトニウム溶液及び調整用のウラン溶

液は、分析値からウラン濃度、プルトニウム濃度及びそれらの同位体組成を把握している。混合液の臨界評価は、無限体系におけるウラン濃度（濃縮度 1.6%）及びプルトニウム濃度と無限実効増倍率（ $k_{\infty}$ ）の関係を示した文献<sup>1)</sup>の臨界評価結果を参考にしている。

文献<sup>1)</sup>の臨界評価ではプルトニウムの同位体として Pu-239, Pu-240 及び Pu-241 を考慮して無限実効増倍率（ $k_{\infty}$ ）を評価している。低濃度のプルトニウム溶液には Pu-238 及び Pu-242 が含まれているものの、それらは核分裂性核種でないことから考慮せずに同位体希釈質量分析法（IDMS）で測定した Pu-239, Pu-240 及び Pu-241 の同位体組成から保守的となる文献<sup>1)</sup>の組成を用いて評価した。

なお、プルトニウム溶液のみを取り扱う分離精製工場（MP）のプルトニウム製品貯槽（267V10～V16）については、現有のプルトニウム溶液のプルトニウム濃度（                    ）が臨界管理濃度（250 g/L）を下回り臨界安全上の問題はない。

### 3.2 評価結果

低濃度のプルトニウム溶液及び混合液の送液経路の機器（配管を含む。）並びに混合液等<sup>※</sup>の送液後の高放射性廃液貯蔵場（HAW）の高放射性廃液貯槽（272V31～V35）のウラン濃度、ウラン濃縮度、プルトニウム濃度及びプルトニウム同位体組成を表 3-2-1 に示す。

表 3-2-1 のウラン濃度、ウラン濃縮度、プルトニウム濃度及びプルトニウム同位体組成を保守的に設定し（表 3-2-2 参照）、Pu-239, Pu-240 及び Pu-241 の同位体組成から保守的となる文献<sup>1)</sup>の組成を用いて評価した（図 3-2-1）。

その結果、低濃度のプルトニウム溶液及び混合液の送液経路の機器（配管を含む。）並びに混合液等を受け入れた際の高放射性廃液貯蔵場（HAW）の高放射性廃液貯槽（272V31～V35）内の高放射性廃液のそれぞれの組成（ウラン濃度（                    ）  
                    ）、ウラン濃縮度 1.6%、プルトニウム濃度（                    ））から、無限実効増倍率（ $k_{\infty}$ ）は 0.75 未満となり、臨界安全上の問題はない。

※ せん断粉末の溶解液、低濃度のプルトニウム溶液、ウラン/プルトニウム比調整用のウラン溶液及びその他の核燃料物質（工程内の洗浄液等）

### 4. 参考文献

- 1) 「次世代再処理施設の設計検討に供する臨界安全制限寸法等のデータ」（須藤他 2011）JAEA-Data-Code-2011-021

以上

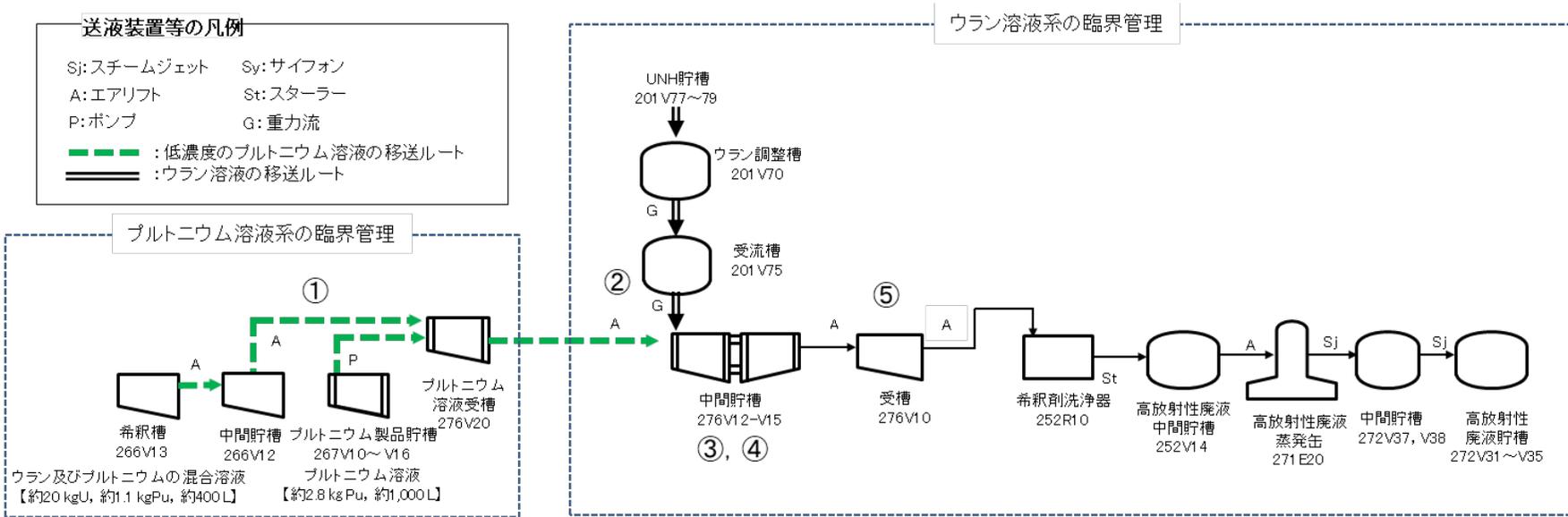


図 2-1 低濃度のプルトニウム溶液の取出し方法及び送液方法

表 3-2-1 各機器の最大ウラン濃度，ウラン濃縮度，プルトニウム濃度及びプルトニウム同位体組成

経路等	機器	ウラン		プルトニウム		備考
		濃度 (g/L)	濃縮度 (%)	濃度 (g/L)	Pu-239:Pu-240:Pu-241 同位体組成 <sup>※1</sup>	
低濃度の プルトニウムの 送液経路	266V12 (266V13 の溶液受入れ時)					
	266V13					
	267V10～267V16					プルトニウム溶液の臨界濃度 (250 gPu/L) 未満，既存の臨 界評価結果と比較は不要
	276V20 (266V13 の溶液受入れ時)					
混合液の 送液経路	276V12-V15					
	276V10					
	252R10					
	252V14					
	271E20					
	272V37, V38					
混合液等 <sup>※2</sup> の送液先	272V31～V35					

※1 Pu-239, Pu-240 及び Pu-241 の分析値で評価

※2 せん断粉末の溶解液，低濃度のプルトニウム溶液，ウラン/プルトニウム比調整用のウラン溶液及びその他の核燃料物質（工程内の洗浄液等）

※3 令和 2 年 8 月 31 日時点の高放射性廃液に混合液等を送液した場合のウラン濃度及びプルトニウム濃度（混合液の受入れに伴う液量増加は考慮しない。）

表 3-2-2 文献<sup>1)</sup>の臨界評価結果と比較するために保守的に設定した当該評価の条件

評価機器 [図 3-2-1 の評価点番号]	ウラン濃度 (g/L)	ウラン濃縮度 (%)	プルトニウム濃度 (g/L)	プルトニウムの 同位体組成 <sup>*1</sup> (Pu-239:Pu-240:Pu-241)
低濃度のプルトニウム溶液の送液経路の機器 [評価点 A]				
混合液の送液経路の機器 [評価点 B]				
混合液等の送液後の高放射性廃液貯槽 [評価点 C]				

( ) 内は、分析値より設定した各機器のウラン濃度、ウラン濃縮度、プルトニウム濃度及びプルトニウム同位体組成

※1 臨界安全上は、プルトニウムの同位体のうち核分裂性核種である Pu-239 及び Pu-241 の組成が多く、中性子吸収核種ある Pu-240 の組成が少ない方が保守的となる。そのため、当該評価の条件は表 3-2-1 に示した各機器のプルトニウム同位体組成よりも Pu-239 及び Pu-241 が多く、Pu-240 が少ない文献<sup>1)</sup>中のプルトニウム同位体組成と設定する。

また、低濃度のプルトニウム溶液の送液経路の機器（評価点 A）における Pu-239 の同位体組成比は、分析値（54%）に対して設定した条件は 55%であり 1%の裕度であるものの、以下の理由により保守的な条件となる。

プルトニウム濃度は、同位体希釈質量分析法（IDMS）により測定され、その誤差は、計量管理における設計情報質問（DIQ）より表 3-2-3 のとおり定められている。同位体希釈質量分析法（IDMS）は、同位体既知量の標準物質を内標準として添加し、添加前後の同位体比の変化からプルトニウム濃度を求める高精度分析法である。同位体希釈質量分析法（IDMS）によるプルトニウム濃度測定の分析誤差には、内標準物質の信頼性や試料秤量エラーといった同位体組成の測定には含まれない誤差要因がある。このため、プルトニウム同位体組成の分析誤差については、偶然誤差及び系統誤差とも表 3-2-3 の分析誤差の値よりも小さくなる。

表 3-2-3 プルトニウム同位体組成の誤差

	偶然誤差 (%) : R	系統誤差 (%) : S
サンプリング誤差 : Sa	< 0.5	< 0.2
分析誤差 : A	1.0	0.3

表 3-2-3 の保守的な同位体希釈質量分析法 (IDMS) のプルトニウム濃度分析誤差を用いてプルトニウム同位体組成の誤差を測定すると、 $Sa = \sqrt{R^2 + S^2}$ ,  $A = \sqrt{R^2 + S^2}$ , 全体誤差 =  $Sa + A$ により、1.58%となる。この誤差を同位体の分析値に乗じると 54.9%であり保守的に設定した条件の範囲内となるため、条件設定に問題はない。なお、混合液の送液経路の機器 (評価点 B) 及び混合液の送液後の高放射性廃液貯槽 (評価点 C) についても同様の理由により保守的である。

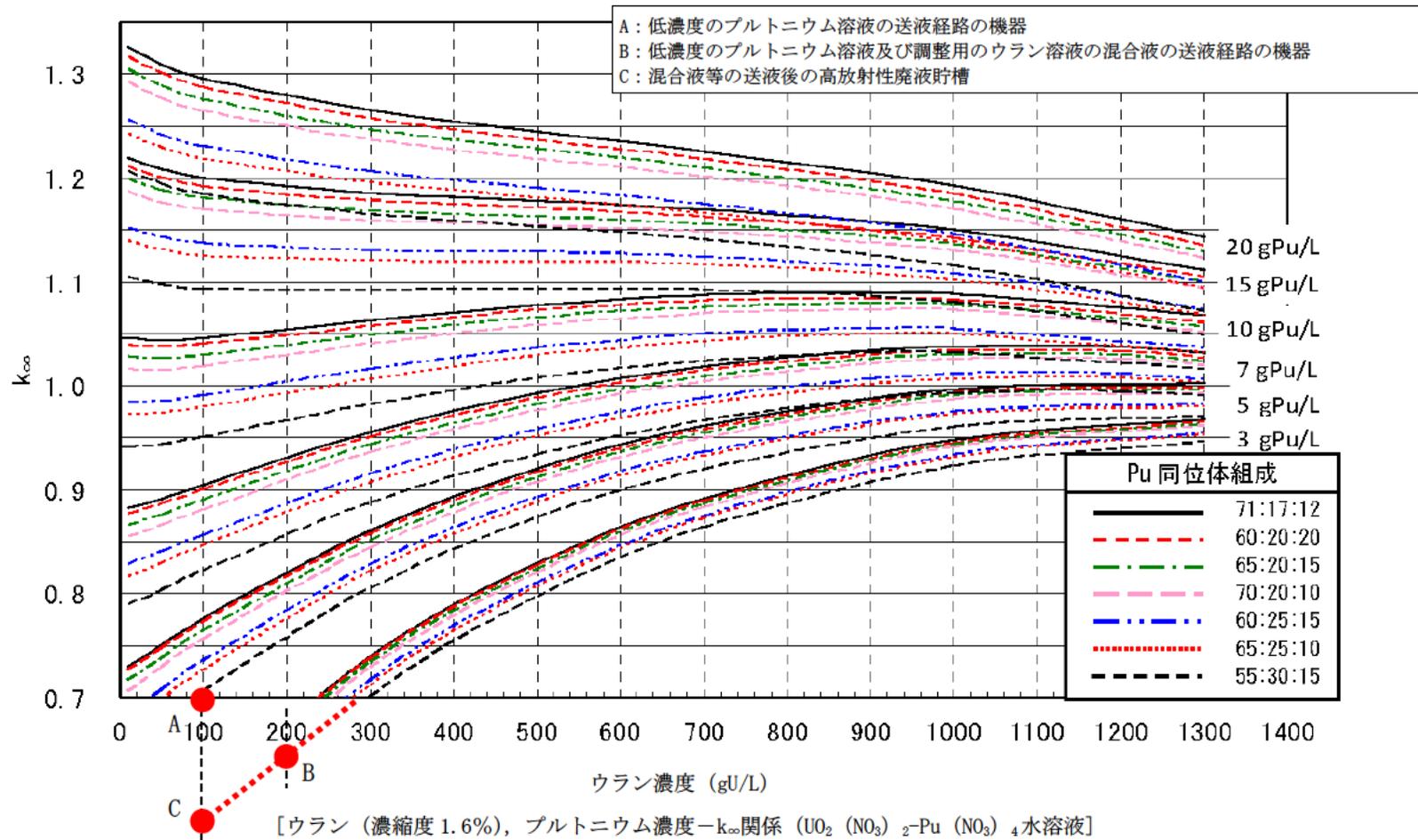


図 3-2-1 工程洗浄で低濃度のプルトニウム溶液が経由する機器等の条件と文献<sup>1)</sup>の既存の無限体系の臨界評価との比較

低濃度のプルトニウム溶液をスチームジェットで送液した  
場合のプルトニウムポリマー生成について

## 1. はじめに

工程洗浄では、分離精製工場（MP）に現有する低濃度のプルトニウム溶液を高放射性廃液貯槽（272V31～V35）に送液する。低濃度のプルトニウム溶液を高放射性廃液貯槽へ送液する場合、その送液経路には蒸気を利用したスチームジェット（以下「SJ」という。）を使用する必要がある。

プルトニウム溶液を SJ で送液した場合、蒸気との接触に伴う温度の上昇及び酸濃度の低下に伴い、プルトニウムポリマー（以下「Pu ポリマー」という。）が生成し、さらに沈殿物が生じると非均質系となり臨界安全上の問題となる。

工程洗浄で取り扱う低濃度のプルトニウム溶液の組成（プルトニウム濃度：3～4 g/L，酸濃度：約 4 mol/L）では Pu ポリマーの生成の可能性は低いと考えられるものの、低濃度のプルトニウム溶液の送液の際には、Pu ポリマーの生成を抑制するウラン溶液をプルトニウム溶液に混合し、使用済燃料の溶解液と同等のウラン/プルトニウム比（70以上）とすることで Pu ポリマーの生成を防止する。Pu ポリマー防止策の妥当性について以下に示す。

## 2. 工程洗浄で取り出す低濃度のプルトニウム溶液の性状（表 2-1）

工程洗浄では、プルトニウム溶液の固化・安定化処理をした際、送液残液として残ったプルトニウム溶液（ ）に液量測定が可能な液量まで硝酸を供給した低濃度のプルトニウム溶液（通常の約 50 分の 1 の濃度）と、ウラン及びプルトニウム混合溶液（）を取り出す。これらの低濃度のプルトニウム溶液の性状を表 2-1 に示す。

## 3. 工程洗浄で取り出す低濃度のプルトニウム溶液と Pu ポリマーの生成条件との比較

Pu ポリマーの生成条件（酸濃度，温度，プルトニウム濃度）及びプルトニウム溶液を SJ で送液した実績に関する文献調査結果と工程洗浄で取り出す低濃度のプルトニウム溶液の性状を当てはめ、Pu ポリマー生成の可能性について検討した。また、ウラン共存下における Pu ポリマーへの影響についても検討した。

### 3.1 Pu ポリマーの生成条件

再処理プロセス・ハンドブック<sup>1)</sup>における Pu ポリマーの生成条件を図 3-1 に示す。プルトニウム溶液の酸濃度が低いほど、また温度及びプルトニウム濃度が高いほど Pu ポリマーは生成しやすくなる。

図 3-1 から仮に工程洗浄で取り出す低濃度のプルトニウム溶液（プルトニウム濃度 ，酸濃度約 4 mol/L）が SJ により約 100℃まで昇温されたとしても、Pu ポリマーが生成する酸濃度は約 0.4 mol/L であり、約 10 倍に希釈される必要がある。10 倍に希釈された場合、プルトニウム濃度は約  となり、Pu ポリ

マーが生成しない領域である。しかしながら、蒸気との接触による局所的な酸濃度の低下を考慮するとプルトニウム溶液単体での送液においては、Pu ポリマー生成の可能性は否定できない。

### 3.2 Pu ポリマーの生成に要する時間

文献<sup>2)</sup>において、プルトニウム溶液のプルトニウム濃度、温度及び酸濃度から2%のプルトニウムがPu ポリマーに変化するまでの期間を計算する経験式が公開されている。

Pu ポリマーの生成に要する時間の計算式を以下に示す。

$$t = [Pu_T]^{-1.6} \times [HNO_3]^{4.6} \times (7.66 \times 10^{-16})e^{12300/T}$$

ここで、

$t$	: 2%のプルトニウムがPu ポリマーに変化するまでの時間(h)
$[Pu_T]$	: プルトニウム濃度 (mol/L)
$[HNO_3]$	: 酸濃度 (mol/L)
$T$	: 温度 (K)

上記の計算式を用いて、工程洗浄におけるPu ポリマーの生成する時間を評価した(表2-2)。その結果、SJにより希釈される前の条件(プルトニウム濃度         ，酸濃度 4 mol/L，温度 35°C)では約  $7.8 \times 10^3$  年，SJにより10倍に希釈されたプルトニウム溶液の条件(プルトニウム濃度         ，酸濃度 0.4 mol/L，温度 100°C)では約66時間となる。

### 3.3 プルトニウム溶液をSJで送液した実績

再処理施設では、精製済のプルトニウム溶液をSJで送液した実績はないものの、米国オークリッジ国立研究所においては、研究室に設置したSJを用いたプルトニウム溶液の送液試験が実施されている。試験の結果、プルトニウム濃度約84 g/Lのプルトニウム溶液をSJで送液した場合、酸濃度が1 mol/Lより高ければPu ポリマーは確認されなかったと報告されている<sup>2)</sup>。

しかし、「Pu ポリマーに係るその他の試験結果を踏まえると、蒸気との接触に伴うPu ポリマーの生成が予想されるため、研究室でのSJを用いた送液試験結果は慎重にみるべきである」と結論付けられており、プルトニウム溶液単体をSJで送液することはせず、Pu ポリマーの生成を抑制するため、ウラン溶液と混合することを検討した。

### 3.4 ウラン共存下でのPu ポリマーへの影響

ウラン共存下では、ウランがPu ポリマーの成長末端と直接結合しPu ポリマーの

生成を抑制するとされている。Tothら<sup>2)3)</sup>によるとウラン/プルトニウム比が10(プルトニウム濃度約12 g/L, 酸濃度0.092~0.26 mol/L)の場合, Puポリマーの生成速度が約30%抑制され, ウラン/プルトニウム比が500の場合, Puポリマーは発生しないとしている。ただし, Puポリマー生成に関するウラン/プルトニウム比のしきい値については関連文献が少なく明確ではない。

一方, 再処理施設ではプルトニウムの含有量が多い新型転換炉原型炉使用済燃料のウラン・プルトニウム混合酸化物燃料(以下「ふげんMOXタイプB燃料」という。)を処理しているものの, 今までに問題となることはなかった。再処理施設での直近のキャンペーン(2007年2月~5月)で処理したふげんMOXタイプB燃料の中で, 調整槽(251V10)の計量分析値から求めたウラン/プルトニウム比の最小値は約59であり, 濃縮ウラン溶解槽(242R10~R12)で溶解した使用済燃料の溶解液は, SJ送液を2回行い入量計量しているが, 計量管理上問題となるようなプルトニウム量ロスはなかった。これは, Puポリマーの生成・沈降がなく, プルトニウムが溶液中に均一に存在していることを示している。

以上のことから, Puポリマーが生成しないウラン/プルトニウム比は明確でないものの, 使用済燃料の溶解液と同等のウラン/プルトニウム比以下であれば, SJによる送液をしてもPuポリマーは生成しないと考えられる。

#### 4. まとめ

工程洗浄で取り扱うプルトニウム溶液はプルトニウム濃度が低くPuポリマー生成の可能性は低いものの, プルトニウム溶液単体をSJで送液した場合, Puポリマーが生成する可能性を否定できない。

よって, 工程内の一部のウラン溶液を低濃度のプルトニウム溶液と混合し, 使用済燃料の溶解液と同等のウラン/プルトニウム比(70)以上として送液することで, Puポリマーの生成を防止する。

#### 5. 参考文献

- 1)「再処理プロセス・ハンドブック第3版」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Review2015-002, P527, (2015).
- 2) L. M. Toth, K. E. Dodson, “Plutonium (IV) hydrous Polymer Chemistry” Oak Ridge National Laboratory, Annual Summer Meeting of the American Nuclear Society, Boston, Mass., (June 9-14, 1985)
- 3) L. M. Toth, H. A. Friedman, and M. M. Osborne, “Polymerization of Pu (IV) in Aqueous Nitric Acid Solutions” J. inorg. nucl. Chem. Vol. 43, No. 11, pp. 2929-2934, (1981)

表 2-1 工程洗浄で取り出す低濃度のプルトニウム溶液の組成

	低濃度のプルトニウム溶液	ウラン及びプルトニウム 混合溶液
貯蔵している貯槽	プルトニウム製品貯槽 (267V10～V16)	希釈槽 (266V13)
プルトニウム濃度 <sup>※1</sup> (プルトニウム量)		
ウラン濃度 <sup>※1</sup> (ウラン量)	—	
酸濃度	約 4～6 mol/L <sup>※2</sup>	約 3 mol/L <sup>※1</sup>

※1 2021 年 PIT における分析値

※2 プルトニウム製品貯槽における酸濃度の管理値

表 2-2 工程洗浄における Pu ポリマーの生成時間

	希釈前のプルトニウム溶液	希釈後のプルトニウム溶液
プルトニウム濃度	(約 $2.0 \times 10^{-2}$ mol/L)	(約 $2.0 \times 10^{-3}$ mol/L)
酸濃度	約 4 mol/L	約 0.4 mol/L
温度	35°C (308 K)	100°C (373 K)
Pu ポリマーの生成時間	約 $7.8 \times 10^3$ 年	約 66 時間

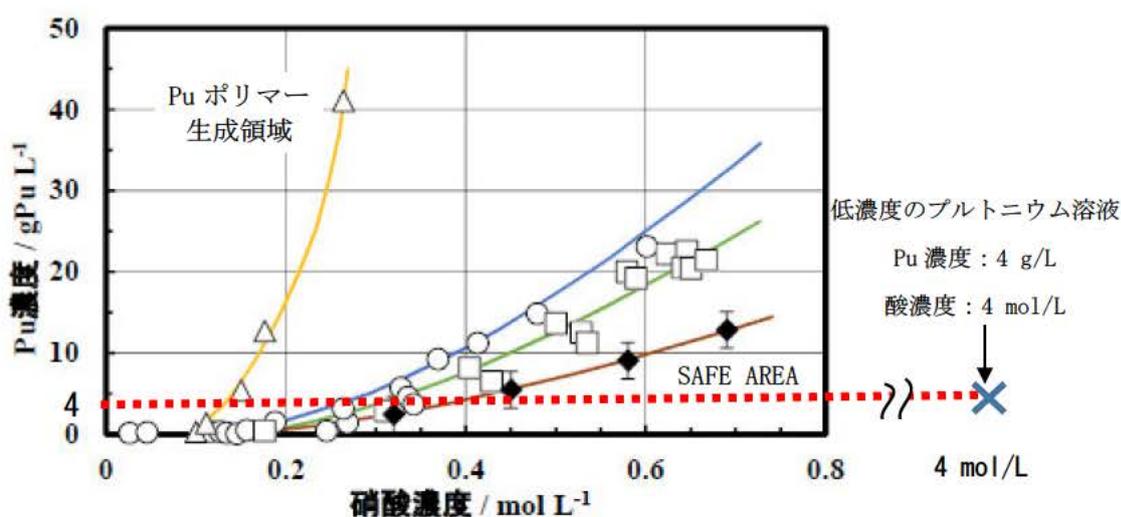


図 3-1 Pu ポリマー生成条件 (Brunstad, A., Ind. Eng. Chem., 51, 1959, 温度△ : 25°C, ○ : 80°C, □ : 90°C, ◆ : 100°C, 各曲線の上あるいは左の領域でポリマーが生成)

工程洗浄において想定される不具合事象と  
その対処方法について

## 1. 不具合事象と処置対策

工程洗浄における設備の故障等の不具合事象が発生した場合の対処の考え方を整理した(図-1 参照)。動的機器の故障の場合、予備機があるものは予備機を起動し、予備機が無い場合は、予備品との交換又は補修による処置を行い対応する。一方、静的機器の故障の場合、回収可能核燃料物質を取扱う機器からの漏えいであれば、漏えい液の回収処置を行い、回収可能核燃料物質を取り扱わない機器(ユーティリティ設備・配管等)や溶液の漏えいを伴わない場合は、予備品との交換又は補修による処置を行う。処置対策方法について参考図-1～5に例を示す。

これら処置を行うことで動的機器、静的機器ともに7日程度で安全な状態に移行することが可能である。

工程洗浄に用いる設備に対して、過去に発生した不具合や故障等から工程洗浄中に発生する可能性のある不具合事象を抽出した。次に、想定される要因とその対策、さらに不具合事象が発生した際の処置対策にかかる期間について上記フローの考え方を基に整理した(表-1)。

工程洗浄で設備の故障等の不具合事象が発生した場合は、予備機があるものは予備機への切替えを行い、予備機がないものは予備品との交換又は設備の補修等の処置対策を行うことで、7日程度で安全な状態に移行することが可能である。工程洗浄で各回収可能核燃料物質の取出し前(せん断粉末、プルトニウム溶液、ウラン溶液及びウラン粉末)には、早期に不具合事象の処置対策が可能ないように手順書等の整備を行う。

なお、工程洗浄の対象機器の崩壊熱除去機能を有する動的機器(資材庫の浄水ポンプ、ユーティリティ施設の冷却水系統のポンプ及びプルトニウム製品貯槽等の空気冷却を行うための分離精製工場のセル換気系排風機)及び水素掃気機能を有する動的機器(ユーティリティ施設の圧縮空気設備の空気圧縮機)は、2基(常用1基/予備1基)で構成され、仮に使用中の機器が故障したとしても圧力警報や負圧警報により速やかに異常を検知でき、自動的に予備機に切り替わるなどにより崩壊熱除去機能及び水素掃気機能は維持可能である。

以上

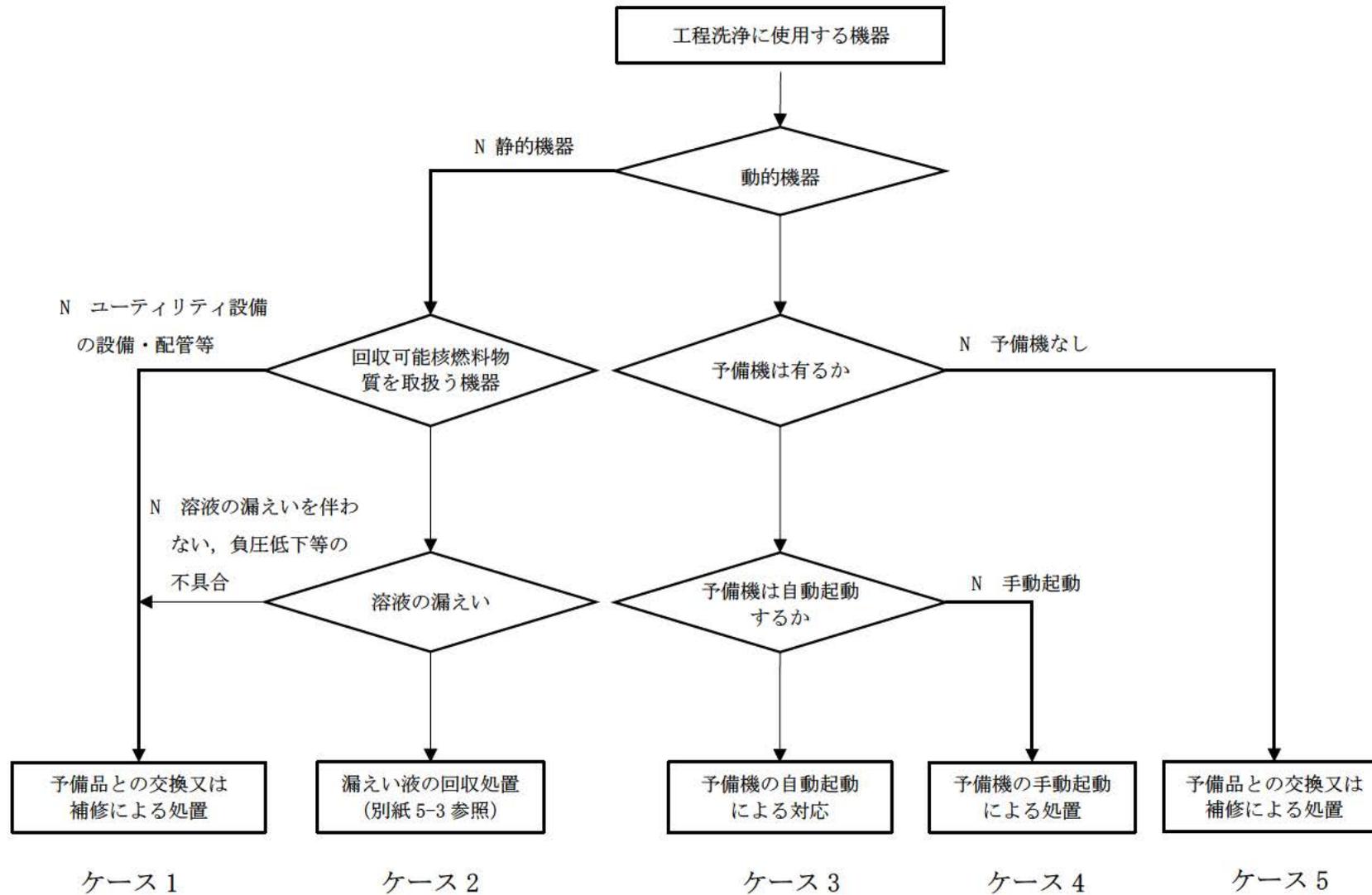
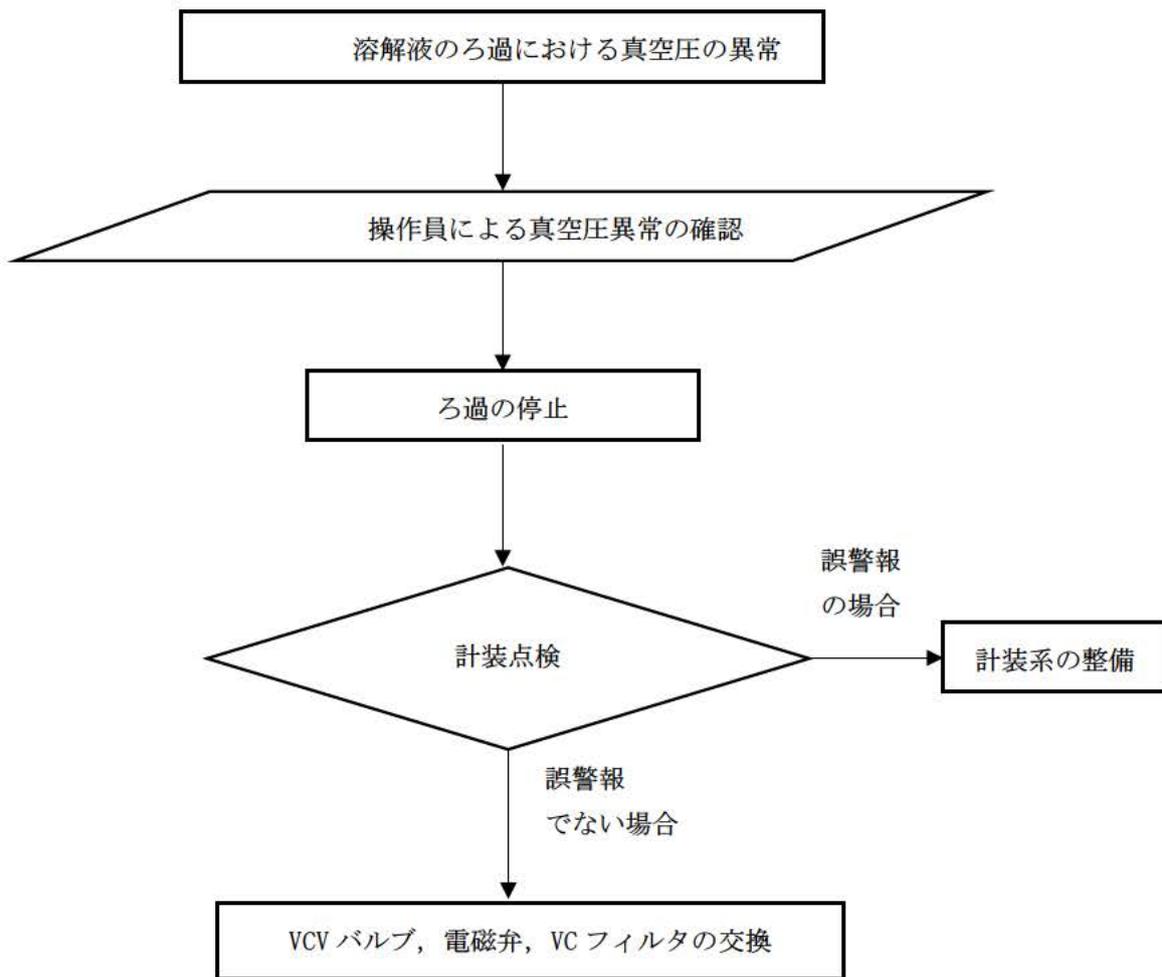
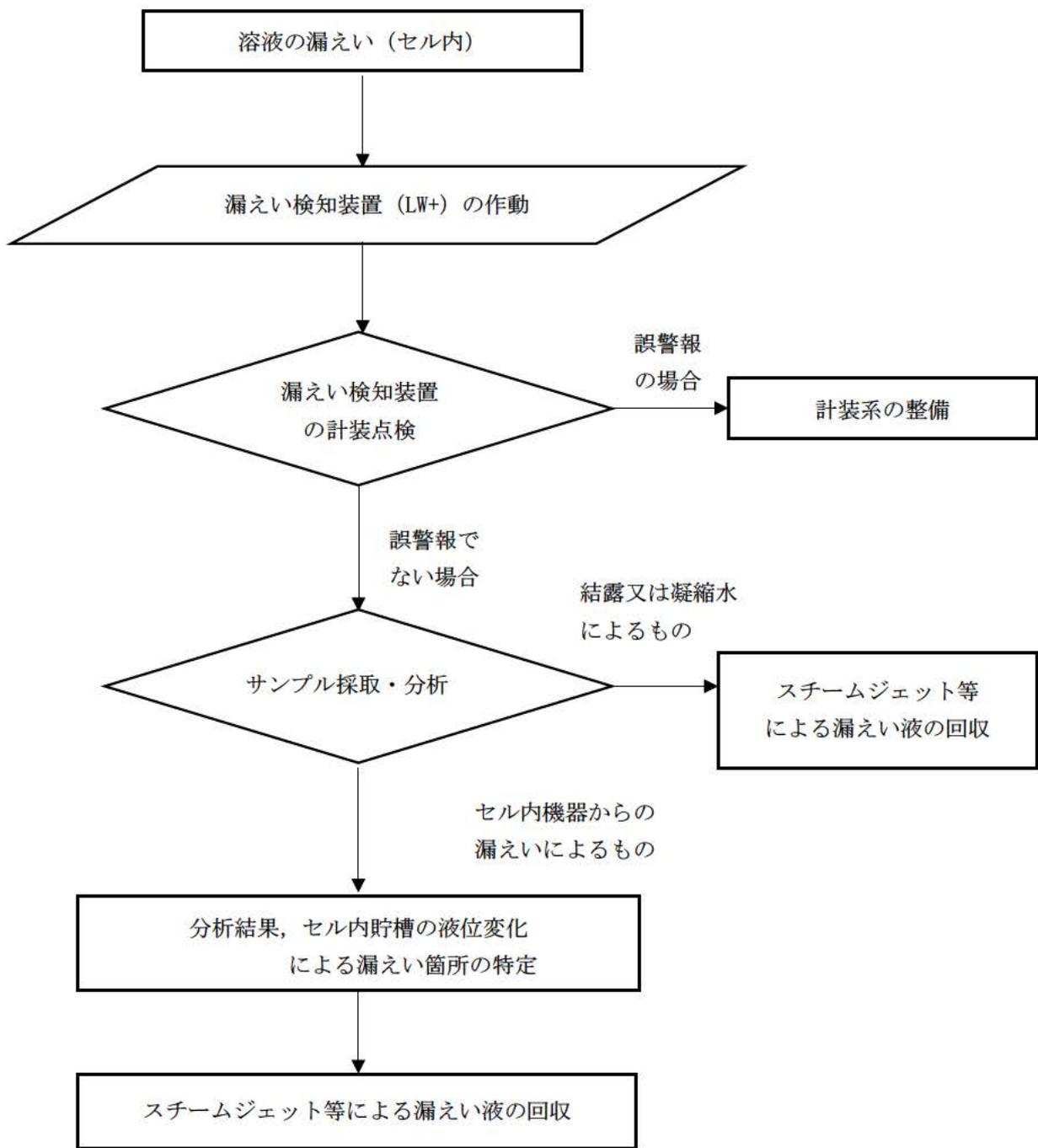


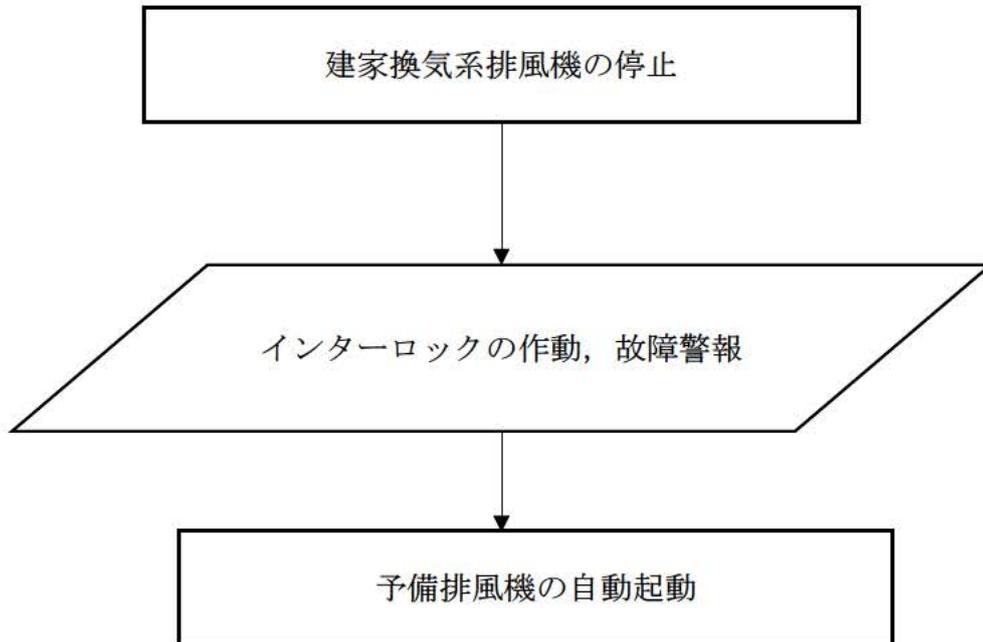
図-1 工程洗浄による回収可能核燃料物質の取出し時に想定される主な不具合事象と処置対策



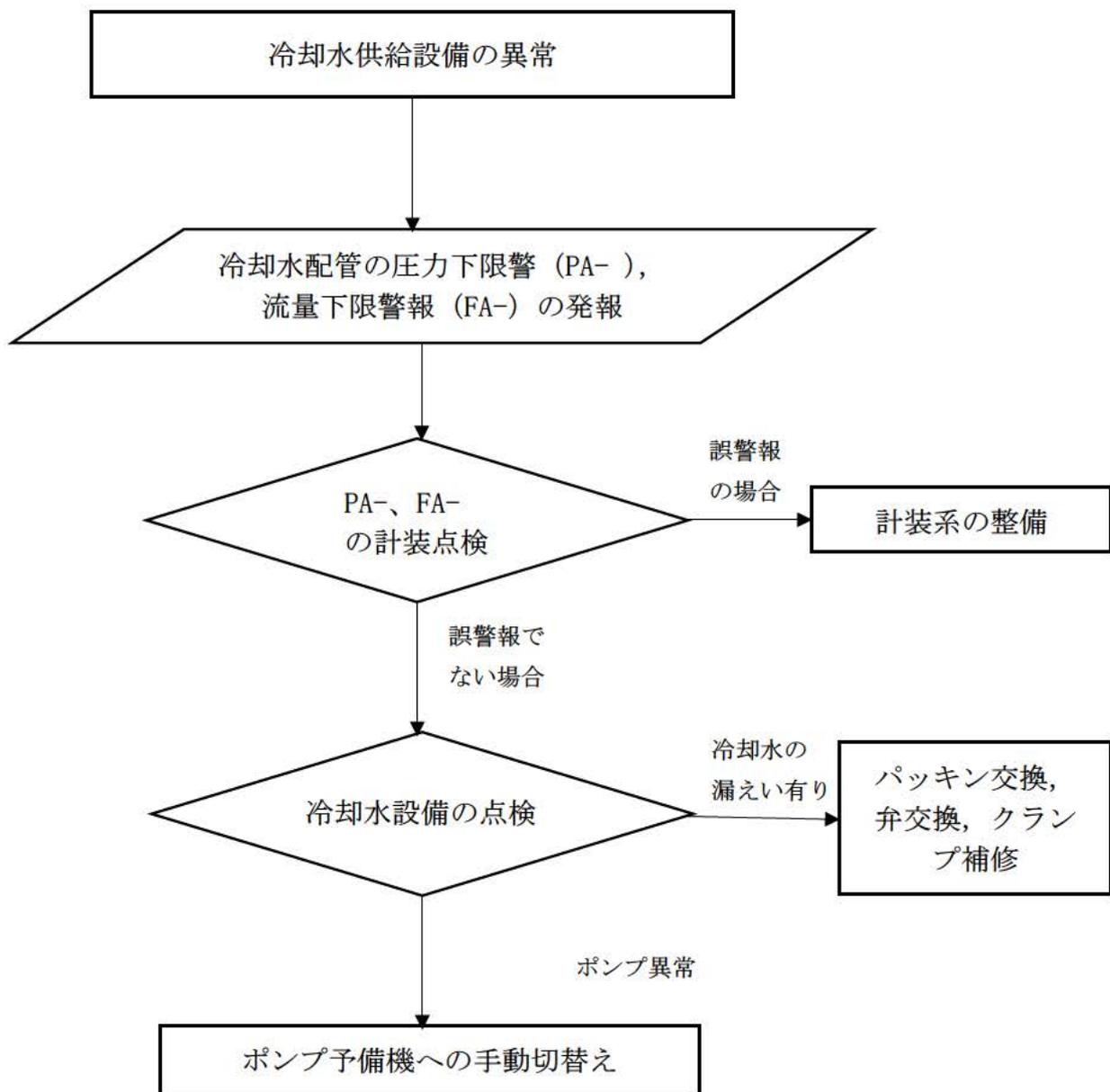
参考図-1 不具合事象ケース1の例  
(溶解液のろ過中に真空圧が異常となった場合の検知方法及びその対応)



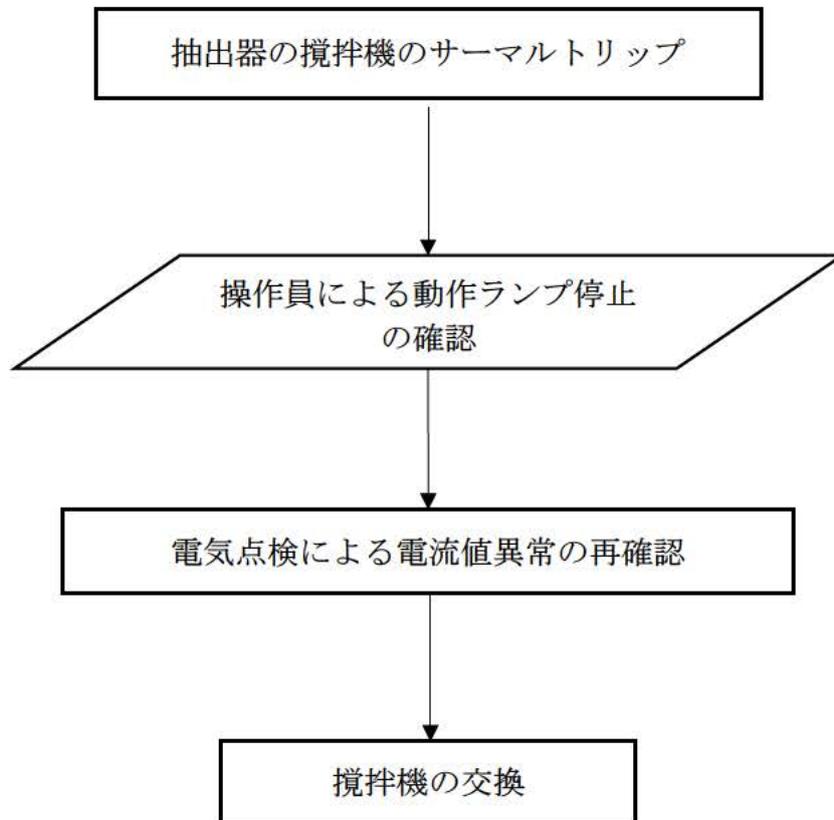
参考図-2 不具合事象ケース2の例  
 (溶液が漏えいした場合の検知方法及びその対応)



参考図-3 不具合事象ケース3の例  
(建家換気系排風機が停止した場合の検知方法及びその対応)



参考図-4 不具合事象ケース4の例  
 (冷却水系に異常が発生した場合の検知方法及びその対応)



参考図-5 不具合事象ケース5の例  
(抽出器の攪拌機に異常が発生した場合の検知方法及びその対応)

表-1 工程洗浄による核燃料物質の取出し時に想定される主な不具合事象と処置対策 (1/15)

系統	操作項目	主な操作内容 (使用する設備)	操作に伴う不具合事象	想定される要因	処置対策	処置対策 にかかる 期間	不具合 ケース
せん断粉末の溶解液の取出しに用いる系統	せん断粉末の装荷	○除染保守セルに保管するせん断粉末のふるい分け及び秤量 ○せん断粉末をホッパへ入れ濃縮ウラン溶解槽装荷セルへ移動 ○ホッパから濃縮ウラン溶解槽内  (セル内遠隔操作機器、ふるい、吊り秤、ホッパ等)	マニプレータ作動不良	爪、手動動作、電動動作の不調	・爪、電気部品（リレー、ヒューズ、駆動モータ、リミットスイッチ等）、操作ボタン、接続配線の整備・交換 予備機への交換	約5日	5
			セル内クレーン、ホイスト作動不良	異常動作、動作停止	・制御盤内電気部品の交換 ・遠隔給電ケーブルの再セット	約5日	5
			パワーマニプレータ作動不良	異常動作、動作停止	・制御盤内電気部品の交換	約5日	5
			反転装置の作動不良	異常動作、動作停止	・摺動部への潤滑剤塗布 ・給電系統の整備 ・駆動モータの切離し、手動による反転、又は垂直操作	約3日	5
			セル内カメラの作動不良	映像不良	・給電ケーブルコネクタの再接続、給電ケーブルの交換 ・予備カメラ、予備制御器への交換	約1日	1
			吊り秤の計重不良	計重不良	・予備品への交換	約1日	1
			電動ふるいの作動不良	異常動作、動作停止	・予備品への交換	約1日	5
			セル内照明の不灯	照明の不灯	・水銀灯の交換	約5日	1
			セル間扉の開閉不良	異常動作、動作停止	・油圧ホースの再接続、油圧タンクの圧空ラインの整備 ・手動開閉	約3日	5
			吊具の動作不良	ロック、アンロック不良	・潤滑剤の塗布、予備の吊具への交換	約2日	1
			ホッパからの漏れ	閉止栓の作動不良	・予備閉止栓への交換	約1日	1
	チェーンスリングの吊上げ不良	チェーンスリングの変形、脱落	・予備品への交換	約1日	1		
	せん断粉末の溶解	○せん断粉末の溶液化（濃縮ウラン溶解槽、セル内遠隔操作機器、蒸気供給系統、純水供給系統、試薬供給系統、オフガス処理系統）	濃縮ウラン溶解槽の気密不良	濃縮ウラン溶解槽プラグのガスケット劣化、破損、脱落	・ガスケット交換	約2日	1
濃縮ウラン溶解槽プラグの閉口不良				・伸縮軸への潤滑剤塗布 ・クラウンの増締め	約1日	1	
オフガス処理系統の閉止弁の内通				・閉止弁の調整又は交換	約5日	1	

別紙 5-2-8

表-1 工程洗浄による核燃料物質の取出し時に想定される主な不具合事象と処置対策 (2/15)

系統	操作項目	主な操作内容 (使用する設備)	操作に伴う不具合事象	想定される要因	処置対策	処置対策 にかかる 期間	不具合 ケース
せん断粉末の溶解液の取出しに用いる系統	せん断粉末の溶解 (つづき)	○せん断粉末の溶液化 (濃縮ウラン溶解槽, セル内遠隔操作機器, 蒸気供給系統, 純水供給系統, 試薬供給系統, オフガス処理系統) (つづき)	濃縮ウラン溶解槽の気密不良 (つづき)	オフガスフィルタケーシングのインリーク	・フィルタケーシングガスケットの増締め, 交換	約 1 日	1
			濃縮ウラン溶解槽内の圧力上昇	せん断粉末の異常反応	・加熱蒸気停止, 冷却 ・オフガス換気系のサンプリング及び洗浄	約 2 日	1
			加熱蒸気量の制御不良	圧空調節弁作動不良, 調節計/計装機器部からの蒸気漏えい	・計装点検, 予備品と交換 (必要に応じて 242R10 又は 242R11 該当箇所と入替え)	約 1 日	1
			濃縮ウラン溶解槽から蒸気凝縮水系への漏えい	濃縮ウラン溶解槽の加熱蒸気ジャケットの故障	・加熱蒸気停止, 冷却 ・凝縮水系のサンプリング及び洗浄	約 2 日	1
			濃縮ウラン溶解槽のパレル洗浄ラインの水洗不調	セル内の耐圧ホースの劣化・接続不良, 水供給ラインの不良, 水供給停止不調 (漏れ, バルブの閉止不調)	・耐圧ホースの交換, 再接続 ・水供給ラインの整備 ・上流側バルブによる閉止	約 5 日	1
			ファンネル, バスケット, スワフの吊上げ不良	吊具のロック不良, 吊荷重の異常	・潤滑剤の塗布, 予備の吊具への交換 ・濃縮ウラン溶解槽のパレル洗浄ラインの水洗, チェーンスリングによる仮吊り	約 2 日	1
	せん断粉末の溶解液の清澄	○溶解液のろ過 (パルスフィルタ, 真空供給系統, 圧空供給系統, セラミックバルブ)	ろ過流量の低下	フィルタ詰り	・フィルタ洗浄	約 2 日	1
			ろ過流量の急激な低下	Oリング, フィルタの破損	・予備品のフィルタと交換	約 5 日	1
			真空圧の異常	真空系統の異常	・VCV, VC フィルタ, 電磁弁交換	約 5 日	1
			圧空の異常	圧空系統(251V102)の計装系異常	・計装点検, 予備品と交換	約 1 日	1
			圧空と真空の切替えタイマーの設定不良	制御盤のタッチパネル劣化等	・計装点検・作動確認 (工程洗浄前にバックライト交換を実施する)	約 1 日	1
			ろ過作動 (圧空と真空の切替え動作) 不良	三方弁の不良	・三方弁の補修 ・予備品の三方弁と交換	約 5 日	1
		○溶解液のろ過 (パルスフィルタ, 真空供給系統, 圧空供給系統, セラミックバルブ)	パルスフィルタの系統切替えバルブ (セラミックバルブ) の開閉不良	アクチュエータの駆動エアの不良, バルブ摺動部へのスラッジ噛みこみ	・駆動エア接続確認手動操作 ・予備のセラミックバルブと交換	約 1 日 約 5 日	5 5

別紙 5-2-8

表-1 工程洗浄による核燃料物質の取出し時に想定される主な不具合事象と処置対策 (3/15)

系統	操作項目	主な操作内容 (使用する設備)	操作に伴う不具合事象	想定される要因	処置対策	処置対策 にかかる 期間	不具合 ケース
せん断粉末の溶解液の取出しに用いる系統	移送装置	○送液操作 (スチームジェット, エアリフト, ダネード, サيفون)	スチームジェット作動不良	本体ノズル閉塞	・凍結栓を用いた詰り除去	約3日	1
				本体ストレーナ詰り	・本体ストレーナ詰り除去	約5日	1
				蒸気ストレーナ閉塞	・ストレーナ清掃, 交換	約1日	1
			エアリフト送液不可	エア供給系統の閉塞	・ストレーナ清掃, 交換	約1日	1
			移送ラインの閉塞	スラッジの堆積	・凍結栓を用いた詰り除去	約1日	1
			ダネード流量制御不可	真空系の異常, 本体閉塞	・真空コントロール弁, 真空フィルタ, 電磁弁交換 本体洗浄	約2日	1
			サイフォン制御不可	真空配管 (真空フィルタ) 閉塞・漏れ, 弁類の動作不良	・真空配管洗浄, 真空フィルタ交換, 弁類交換	約5日	1
	○攪拌機 (抽出器)	サーマルトリップ	モータ部の故障	・キャスク交換方式による攪拌機交換	約7日	5	
	○流量コントローラ (抽出器)	抽出器内溶液の移動不可	真空調節弁, 差圧調節器の故障	・真空調節弁, 差圧調節器の交換	約5日	1	
	槽類換気 オフガス洗浄	○廃ガス貯留 (圧縮機)	圧縮機作動不良	電動機故障, Vベルト劣化	・電動機交換, Vベルト交換	約2日	4
				Vベルト破損	Vベルト劣化	・Vベルト交換	約1日
		○槽類換気 (排風機)	換気停止 負圧維持不可	電動機故障, 摺動部噛みこみ	・予備機切替	約1日	3
				プライミング不良	・予備機切替	約1日	4
		○オフガス洗浄 (ポンプ, フィルタ)	フィルタ線量率の大幅な上昇	電動機故障, 摺動部噛みこみ	・ポンプ交換 (予備機がない系統)	約5日	5
	オフガス洗浄塔の機能不全 (放射性物質除去率低下) フィルタへの放射性物質の付着			・線量率上昇の原因調査, 予備側フィルタへの切替	約1日	1	

別紙 5-2-8

表-1 工程洗浄による核燃料物質の取出し時に想定される主な不具合事象と処置対策 (4/15)

系統	操作項目	主な操作内容 (使用する設備)	操作に伴う不具合事象	想定される要因	処置対策	処置対策 にかかる 期間	不具合 ケース		
せん断粉末の溶解液の取出しに用いる系統	槽類換気 オフガス洗 浄 (つづき)	○気体放出 (槽類換気) (オフガス処理工程)	ヨウ素異常放出	オフガス洗浄塔 (配管) の漏えい オフガス洗浄液の誤移送 洗浄塔アルカリ濃度低下	<ul style="list-style-type: none"> <li>原因特定 (ヨウ素サンプリング, 換気系運転状態確認)</li> <li>換気系運転状態を正常に復帰</li> <li>ヨウ素除去装置 (AgX フィルタ) 予備系に切替え</li> <li>洗浄塔循環系統の予備系切替え, 停止</li> </ul>	約 2 日	1		
	共通	○液移送  ○サンプリング (サンプリングベンチ, 気送管)	○液移送	漏えい検知器の作動	機器, 配管の漏えい	・ドリフトトレイ液抜き, 洗浄	約 2 日	2	
				試料採取不可	試料採取用トンゴブーツの破損	・試料採取用トンゴブーツ交換	約 7 日	5	
					試料採取用トンゴ故障	・試料採取用トンゴ交換	約 5 日	5	
					サンプリングラインの閉塞	・ライン洗浄, ニードル交換	約 2 日	1	
					真空圧の低下	・真空フィルタ交換, 電磁弁交換	約 5 日	1	
					試料気送器の故障	・試料気送器交換	約 5 日	5	
				○試薬・ユーティリティ	流量制御不可	制御系の故障, 閉塞等	・計装点検, 制御系の交換, 詰り除去等	約 2 日	1
					硝酸供給の不具合	積算流量計の故障	・積算流量計の点検整備, 交換	約 1 日	1
					酸素ラインに酸素流れない	酸素ラインの詰り (沈殿, 凝固物: 溶解槽, 溶解液受槽等)	・高圧水による詰り除去洗浄	約 2 日	1
					硝酸供給ラインからの漏えい	フランジ部のガスケット劣化	・フランジ部のガスケット交換	約 1 日	1
				○弁類	手動弁, 圧空作動弁作動不良	ダイヤフラム破損, 軸破損等	・弁交換	約 1 日	1
					漏えい	パッキン劣化	・パッキン交換, 弁交換	約 1 日	1,2
				○計装計器	指示異常	計装配管の閉塞	・エアブロー等	約 1 日	1

別紙 5-2-8

表-1 工程洗浄による核燃料物質の取出し時に想定される主な不具合事象と処置対策 (5/15)

系統	操作項目	主な操作内容 (使用する設備)	操作に伴う不具合事象	想定される要因	処置対策	処置対策 にかかる 期間	不具合 ケース
低濃度のプルトニウム溶液の取出しに用いる系統	移送装置	○送液操作 (スチームジェット, エアリフト, ポンプ)	スチームジェット作動不良	本体ノズル閉塞	・硝酸浸漬等による詰り除去	約5日	1
				蒸気ストレーナ閉塞	・ストレーナ清掃, 交換	約1日	1
			エアリフト送液不可	エア供給系統の閉塞	・ストレーナ清掃, 交換	約1日	1
				真空三方弁等の故障	・真空三方弁等の交換	約5日	1
			移送ラインの閉塞	スラッジの堆積	・凍結栓を用いた詰り除去	約1日	1
			ポンプのプライミング不良	電動機故障, パッキン劣化	・ポンプ交換 (予備機なし)	約5日	5
		○攪拌機 (抽出器)	サーマルトリップ	モータの故障	・キャスク交換方式による攪拌機交換	約7日	5
	○流量コントローラ (抽出器)	抽出器内溶液の移動不可	真空調節弁, 差圧調節器の故障	・真空調節弁, 差圧調節器の交換	約5日	1	
	槽類換気 オフガス洗 浄	○換気 (排風機)	Vベルト破損	Vベルト劣化	・Vベルト交換	約1日	5
				換気停止 負圧維持不可	電動機故障, 摺動部噛みこみ	・予備機切替え	約1日
		○Pu系オフガス洗 浄 (エアジェット)	負圧低下	エアジェット閉塞等	・エアジェット洗浄	約2日	1
	低濃度のプ ルトニウム 溶液の移送	○弁操作 (グローブボッ クス)	グローブ不良 (ピンホール, 肌荒 れ)	グローブの劣化等	・グローブ交換	約1日	1
		○液位計測	高精度デジタルマノメータ指示不良	マノメータ故障, 伝送不 良	・マノメータ交換等	約2日	1
	共通	○液移送	漏えい検知器の作動	機器, 配管の漏えい	・ドリフトトレイ液抜き, 洗浄	約2日	2

表-1 工程洗浄による核燃料物質の取出し時に想定される主な不具合事象と処置対策 (6/15)

系統	操作項目	主な操作内容 (使用する設備)	操作に伴う不具合事象	想定される要因	処置対策	処置対策 にかかる 期間	不具合 ケース		
低濃度のプルトニウム溶液の取出しに用いる系統	共通 (つづき)	○サンプリング (サンプリングベンチ, 気送管)	試料採取不可	試料採取用トングブーツの破損	・試料採取用トングブーツ交換	約7日	5		
				試料採取用トング故障	・試料採取用トング交換	約5日	5		
				サンプリングラインの閉塞	・ライン洗浄, ニードル交換	約2日	1		
				真空圧の低下	・真空フィルタ交換, 電磁弁交換	約5日	1		
				試料気送器の故障	・試料気送器交換	約5日	5		
		○オフガス洗浄 (ポンプ)	プライミング不良	電動機故障, 摺動部噛みこみ	・予備機切替え ・ポンプ交換 (予備機がない系統)	約1日 約5日	4 5		
		○試薬・ユーティリティ	流量制御不可	制御系の故障, 閉塞等	・計装点検, 制御系の交換, 詰り除去等	約2日	1		
			硝酸供給ラインからの漏えい	フランジ部のガスケット劣化	・フランジ部のガスケット交換	約1日	1		
		○弁類	手動弁, 圧空作動弁作動不良	ダイヤフラム破損, 軸破損等	・弁交換	約1日	1		
			漏えい	パッキン劣化	・パッキン交換, 弁交換	約1日	1		
		○計装計器	指示異常	計装配管の閉塞	・エアブロー等	約1日	1		
		ウラン溶液の取出しに用いる系統	ウラン溶液の抽出し (PCDF)	○ウラン溶液の抽出し (循環ポンプ, 弁)	抽出弁からの漏えい	パッキン劣化	・弁交換	約1日	1
			硝酸ウラニル貯槽の洗浄 (PCDF)	○槽洗浄 (循環ポンプ, 弁)	プライミング不良	ウラン溶液による固着	・ポンプ分解による洗浄	約2日	5
電動機故障	・ポンプ交換 (予備機なし)				約3日	5			
硝酸供給ラインからの漏えい	フランジ部ガスケット劣化				・弁交換	約1日	1		
ウラン溶液の抽出し (PCDF)	○液移動 (シーラ, 運搬容器)		シーラの作動不良	ケーブルの絶縁不良等	・シーラの交換	約1日	1		
			運搬容器の損傷	容器の破損	・運搬容器交換	約1日	1		
			移動経路の汚染	溶液の漏えい	・容器蓋部のシール ・容器ビニールバック 2重シール	約2日	2		

別紙 5-2-8

表-1 工程洗浄による核燃料物質の取出し時に想定される主な不具合事象と処置対策 (7/15)

系統	操作項目	主な操作内容 (使用する設備)	操作に伴う不具合事象	想定される要因	処置対策	処置対策 にかかる 期間	不具合 ケース
ウラン溶液の取出しに用いる系統	ウラン溶液の濃縮	○蒸発缶 (263E35)	蒸発缶内の圧力上昇	排風機 (264K664 又は K665) の故障	<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱硝塔処理運転の停止</li> <li>・蒸発缶濃縮運転の停止</li> <li>・排風機の予備機への切替え</li> </ul>	約 2 日	3
				加熱用蒸気の供給調節弁 (263TRCV35. 1) の故障による蒸気流量過多	<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱硝塔処理運転の停止</li> <li>・蒸発缶濃縮運転の停止</li> <li>・調節弁の点検, 補修, 交換</li> </ul>	約 2 日	1
				蒸発缶凝縮器 (263H36) 冷却水量の減少	<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱硝塔処理運転の停止</li> <li>・蒸発缶濃縮運転の停止</li> <li>・冷却水ポンプの予備機への切替え</li> </ul>		1
			蒸発缶内液量 (液位) の上昇	オーバーフローラインの閉塞 (ウラン溶液の晶析)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱硝塔処理運転の停止</li> <li>・リボンヒータ等を用いたオーバーフローライン加熱による詰り除去</li> </ul>	約 2 日	1
			蒸発缶内のウラン溶液濃度低下	加熱用蒸気の供給調節弁 (263TRCV35. 1) の故障による蒸気流量減少	<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱硝塔処理運転の停止</li> <li>・蒸発缶濃縮運転の停止</li> <li>・調節弁の点検・補修, 交換</li> </ul>	約 2 日	1
	ウラン溶液の脱硝	○脱硝塔 (264R43)	脱硝塔内の圧力上昇	排風機 (264K664 又は K665) の故障	<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱硝塔処理運転の停止</li> <li>・蒸発缶濃縮運転の停止</li> <li>・排風機の予備機への切替え</li> </ul>	約 2 日	3
				脱硝塔上部の固気分離フィルタ (キャンドルフィルタ) の目詰り	<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱硝塔処理運転の停止</li> <li>・蒸発缶濃縮運転の停止</li> <li>・塔内 ウラン粉末の拔出</li> <li>・脱硝塔分解にてフィルタを交換</li> </ul>	約 7 日	1
			脱硝塔内の圧力上昇	脱硝塔凝縮器 (264H48) への冷却水量の減少	<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱硝塔処理運転の停止</li> <li>・蒸発缶濃縮運転の停止</li> <li>・冷却水ポンプの予備機への切替え</li> </ul>	約 2 日	1
			脱硝塔内部温度の低下	脱硝塔ヒータの故障 (加熱器の電気部品の故障)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱硝塔処理運転の停止</li> <li>・電気部品の点検, 補修, 交換</li> </ul>	約 7 日	1

表-1 工程洗浄による核燃料物質の取出し時に想定される主な不具合事象と処置対策 (8/15)

系統	操作項目	主な操作内容 (使用する設備)	操作に伴う不具合事象	想定される要因	処置対策	処置対策 にかかる 期間	不具合 ケース
ウラン溶液の取出しに用いる系統	ウラン溶液の脱硝 (つづき)	○脱硝塔 (264R43) (つづき)	脱硝塔内部温度の低下 (つづき)	ウラン粉末流動用の空気加熱器 (264H431) の故障	<ul style="list-style-type: none"> <li>脱硝塔処理運転の停止</li> <li>蒸発缶濃縮運転の停止</li> <li>塔内 ウラン粉末の拔出</li> <li>加熱器の点検, 補修, 交換</li> </ul>	約 7 日	1
				ウラン溶液噴霧用の空気加熱器 (264H432) の故障	<ul style="list-style-type: none"> <li>脱硝塔処理運転の停止</li> <li>蒸発缶濃縮運転の停止</li> <li>塔内 ウラン粉末の拔出</li> <li>加熱器の点検, 補修, 交換</li> </ul>	約 7 日	1
			脱硝塔からのウラン粉末拔出不可	オーバーフローラインの閉塞	<ul style="list-style-type: none"> <li>オーバーフローラインへのハンマリングによるウラン粉末ケーキングの除去</li> </ul>	約 1 日	1
				【上記ハンマリングで除去不可の場合】	<ul style="list-style-type: none"> <li>脱硝塔処理運転の停止</li> <li>蒸発缶濃縮運転の停止</li> <li>塔内 ウラン粉末の拔出</li> <li>オーバーフローラインを分解 (継手部) し, 閉塞除去</li> </ul>	約 7 日	1
			脱硝塔へのウラン溶液供給不可	噴霧ノズルの閉塞	<ul style="list-style-type: none"> <li>脱硝塔処理運転の停止</li> <li>蒸発缶濃縮運転の停止</li> <li>塔内 ウラン粉末の拔出</li> <li>噴霧ノズルの交換</li> </ul>	約 7 日	1
				ウラン溶液供給ポンプ (264P401 又は P402) の故障	<ul style="list-style-type: none"> <li>脱硝塔処理運転の停止</li> <li>予備機への切替え</li> </ul>	約 1 日	4
				ウラン溶液供給ラインの閉塞	<ul style="list-style-type: none"> <li>脱硝塔処理運転の停止</li> <li>リボンヒータ等を用いた ウラン溶液供給ライン加熱による詰り除去</li> </ul>	約 2 日	1
				ウラン溶液噴霧用の空気供給調節弁 (264FRCV432.1) の故障	<ul style="list-style-type: none"> <li>脱硝塔処理運転の停止</li> <li>調節弁の点検, 補修, 交換</li> </ul>	約 2 日	1

別紙 5-2-8

表-1 工程洗浄による核燃料物質の取出し時に想定される主な不具合事象と処置対策 (9/15)

系統	操作項目	主な操作内容 (使用する設備)	操作に伴う不具合事象	想定される要因	処置対策	処置対策 にかかる 期間	不具合 ケース
ウラン溶液の取出しに用いる系統	ウラン溶液の脱硝 (つづき)	○脱硝塔 (264R43) (つづき)	ウラン溶液供給ラインの継手等からのウラン溶液漏えい (滲み)	加熱によるバルブ、フランジ継手等のボルトナットの緩み	・脱硝塔処理運転の停止 ・ボルトナットの増締め	約1日	1
				バルブ、フランジ継手等のパッキン、ガスケット類の劣化	・脱硝塔処理運転の停止 ・パッキン、ガスケット類の交換	約2日	1
			ウラン溶液供給ラインのフレキシブルホースからのウラン溶液漏えい (滲み)	フレキシブルホースの損傷 (亀裂, ピンホール, Oリングの劣化等)	・脱硝塔処理運転の停止 ・フレキシブルホースの交換	約2日	1
			分散板の圧損の上昇 (目詰り)	分散板上に塊 (ノズルケーキング) の堆積量増加	・脱硝塔処理運転の停止 ・蒸発缶濃縮運転の停止 ・塔内 ウラン粉末の抜出 ・下部フランジを分解し, 分散板の交換	約7日	1
			脱硝塔内ウラン粉末の流動不可	未脱硝のウラン溶液による塔内閉塞	・脱硝塔処理運転の停止 ・蒸発缶濃縮運転の停止 ・塔内ウラン粉末の抜出 ・下部フランジを分解し, 塔内の閉塞を除去	約7日	1
				分散板の目詰り (噴霧ノズルからのウラン溶液液だれ等)	・脱硝塔処理運転の停止 ・蒸発缶濃縮運転の停止 ・塔内 ウラン粉末の抜出 ・下部フランジを分解し, 分散板の交換	約7日	1
	ウラン粉末流動用の空気供給調節弁 (264FRCV431.1) の故障	・脱硝塔処理運転の停止 ・調節弁の点検, 補修, 交換		約2日	1		
	ウラン粉末の抜出し	○UO <sub>3</sub> 粉末 取扱い系統	ウラン粉末サンプリング装置 (264X4371) によるサンプリング不可	サンプリング装置故障	・脱硝塔処	約2日	5
				塊 (ノズルケーキング) による配管の閉塞	理運転の停止 ・サンプリング装置の点検, 補修, 交換		1
			U03 受槽 (264V438) から三酸化ウラン容器への充填不可	U03 受槽 (264V438) 下流側の抜出し配管の閉塞	・脱硝塔処理運転の停止 ・抜出し配管を分解 (継手部) し, 閉塞除去	約2日	1
			加熱によるウラン粉末抜き出しラインの継手等からのウラン粉末漏えい (付着)	加熱によるバルブ、フランジ継手等のボルトナットの緩み	・脱硝塔処理運転の停止 ・ボルトナットの増締め	約1日	1
			ウラン粉末抜き出しラインの伸縮継手 (ベローズ) からのウラン粉末漏えい (付着)	伸縮継手フランジ部のボルトナットの緩み	・脱硝塔処理運転の停止 ・ボルトナットの増締め	約1日	1
		伸縮継手の損傷 (亀裂, ピンホール等)	・脱硝塔処理運転の停止 ・伸縮継手の交換	約1日	1		

別紙 5-2-8

表-1 工程洗浄による核燃料物質の取出し時に想定される主な不具合事象と処置対策 (10/15)

系統	操作項目	主な操作内容 (使用する設備)	操作に伴う不具合事象	想定される要因	処置対策	処置対策 にかかる 期間	不具合 ケース	
ウラン溶液の取出しに用いる系統	ウラン粉末の 抽出し (つづき)	○ウラン粉末 取扱い系統 (つづき)	U03 受槽 (264V438) 等の圧力上昇	U03 受槽 (264V438) , 三酸化ウラン容器等のベント配管 (均圧ライン) の閉塞	・脱硝塔処理運転の停止 ・ベント配管のハンマリング又はベント配管を分解 (継手部) し, 閉塞除去	約 2 日	1	
	シード用ウラン粉末の 供給	○気流輸送装置	シード用ウラン粉末の気流輸送不可	排風機 (264K6925) の故障	・脱硝塔処理運転の停止 ・排風機の点検, 補修, 交換	約 5 日	5	
				シード供給槽 (264V436) のフィルタの閉塞	・脱硝塔処理運転の停止 ・フィルタの交換	約 2 日	1	
				気流輸送配管の閉塞	・脱硝塔処理運転の停止 ・気流輸送配管のハンマリング又は気流輸送配管を分解 (継手部) し, 閉塞除去	約 2 日	1	
	槽類換気 オフガス洗 浄	○排風機		V ベルト破損	V ベルト劣化	・V ベルト交換	約 1 日	5
				電動機不調	電動機故障, 摺動部噛みこみ	・電動機交換	約 2 日	1
	共通	○液移送		漏えい検知器の作動	機器, 配管の漏えい	・ドリフトレイ液抜き, 洗浄	約 2 日	1
		○サンプリング		試料採取不可	ニードルの詰り	・ニードル交換	約 1 日	1
		○試薬・ユーティリティ	流量制御不可	制御系の故障, 閉塞等	・計装点検, 制御系の交換, 詰り除去等	約 2 日	1	
			試薬供給ラインからの漏えい	ガスケット劣化	・フランジ部のガスケット交換	約 1 日	1	
		○ポンプ		プライミング不良	電動機故障, 摺動部噛みこみ	・ポンプ交換	約 5 日	5
		○ダネード		流量制御不可	真空系の異常, 本体閉塞	・真空コントロール弁, 真空フィルタ, 本体洗浄	約 2 日	1
		○計装計器		指示異常	計装配管の閉塞	・エアブロー等	約 1 日	1
		○弁類		手動弁, 圧空作動弁作動不良	ダイアフラム, 軸破損等	・弁交換	約 1 日	1

別紙 5-2-8

表-1 工程洗浄による核燃料物質の取出し時に想定される主な不具合事象と処置対策 (11/15)

系統	操作項目	主な操作内容 (使用する設備)	操作に伴う不具合事象	想定される要因	処置対策	処置対策 にかかる 期間	不具合 ケース
その他の核燃料物質（工程内の洗浄液等）の取出しに用いる系統	依頼試料の 分析	○分析セルライン	マニプレータ作動不良	爪先開閉不良，ワイヤー切れ，ブーツの破れ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・爪先の交換</li> <li>・マニプレータ本体の交換</li> <li>・ブーツ交換</li> </ul>	約2日	5
			トング作動不良	爪先開閉不良，本体作動不良，ブーツの破れ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・爪先の交換</li> <li>・トング本体の交換</li> <li>・ブーツ交換</li> </ul>	約2日	5
			コンベアベルト作動不良	ベルトのき裂	・ベルト交換	約3日	5
				駆動モータの故障	・代替え手段(手動運搬器具)による対応	約1日	5
		○グローブボックス	グローブ作業による汚染	グローブの破れ，ピンホール	・グローブの交換	約1日	1
			バッグイン・アウト作業による汚染	ビニールバッグの破れ，ピンホール	・ビニールバッグの交換		1
		○試料気送設備	気送不良	送受信器作動不良，気送タイマー作動不良，気送管の詰り	<ul style="list-style-type: none"> <li>・送受信器の交換</li> <li>・手動操作による対応</li> <li>・空気送及び水試料気送</li> </ul>	約1日	5
				気送プロア作動不良	・プロアの点検整備	約2日	5
					・予備品への交換	約7日	5
		○自動滴定装置	機器作動不良	本体作動不良	・予備品への交換	約2日	1
				滴定電極破損	・滴定電極の交換	約1日	1
				試薬供給ラインき裂，詰り	・試薬ラインの交換		1
		○分光光度計	機器作動不良	本体作動不良	・予備品への交換	約1日	1
				測定セル曇り，詰り	・測定セルの交換	約2日	1
				光ファイバケーブル光源不良	・光ファイバケーブルの交換	約3日	1
				試薬供給ラインき裂，詰り	・試薬ラインの交換	約1日	1

別紙 5-2-8

表-1 工程洗浄による核燃料物質の取出し時に想定される主な不具合事象と処置対策 (12/15)

系統	操作項目	主な操作内容 (使用する設備)	操作に伴う不具合事象	想定される要因	処置対策	処置対策 にかかる 期間	不具合 ケース
その他の核燃料物質（工程内の洗浄液等）の取出しに用いる系統	依頼試料の 分析 (つづき)	○放射能測定装置	機器作動不良	本体作動不良	・予備品への交換	約1日	1
				検出器の作動不良, 性能低下	・測定検出器の交換	約2日	1
		○質量分析計	機器作動不良	真空ポンプ作動不良	・予備品への交換	約3日	5
				電源系統の作動不良	・装置の点検整備, 電源ユニット等の交換	約5日	1
				制御系統の作動不良	・装置の点検整備, 予備部品への交換		1
		○分析試料サンプリング 装置	機器作動不良	本体作動不良	・予備品への交換	約1日	1
				サンプリングラインき裂・詰り	・サンプリングライン交換		1
	○電子天秤	機器作動不良	本体作動不良	・予備品への交換	約1日	1	
	中間貯槽の 送液・洗浄	○貯槽液サンプリング	試料採取不可	サンプリングラインの詰り	・サンプリングラインの洗浄	約1日	1
					・サンプリングラインの交換	約2日	1
		○貯槽洗浄液供給	洗浄液供給不可	供給ラインの詰り	・別系統からの供給(貯槽攪拌ライン使用)	約1日	1
	液移送装置	○送液操作 (スチームジェット, エアリフト)	スチームジェット作動不良	本体ノズル閉塞	・硝酸浸漬等による詰り除去	約5日	1
				蒸気ストレーナ閉塞	・ストレーナ清掃, 交換	約1日	1
			エアリフト送液不可	エア供給系統の閉塞	・ストレーナ清掃, 交換	約1日	1
	抽出器洗浄	○攪拌機 (抽出器)	サーマルトリップ	モータ部の故障	・バックイン, バックアウト方式による攪拌機交換	約1日	1
		○真空三方弁	抽出器液抜き不可	真空三方弁等の故障	・真空三方弁等の交換	約5日	1

表-1 工程洗浄による核燃料物質の取出し時に想定される主な不具合事象と処置対策 (13/15)

系統	操作項目	主な操作内容 (使用する設備)	操作に伴う不具合事象	想定される要因	処置対策	処置対策 にかかる 期間	不具合 ケース
その他の核燃料物質（工程内の洗浄液等）の取出しに用いる系統	共通	○液移送	漏えい検知器の作動	機器、配管の漏えい	・ドリフトレイ液抜き、洗浄	約2日	2
		○サンプリング (サンプリングベンチ, 気送管)	試料採取不可	試料採取用トンゴブーツの破損	・試料採取用トンゴブーツ交換	約7日	5
				試料採取用トンゴ故障	・試料採取用トンゴ交換	約5日	5
				サンプリングラインの閉塞	・ライン洗浄、ニードル交換	約2日	1
				真空圧の低下	・真空フィルタ交換、電磁弁交換	約5日	1
				試料気送器の故障	・試料気送器交換	約5日	5
		○試薬・ユーティリティ	硝酸供給ラインからの漏えい	フランジ部のガスケット劣化	・フランジ部のガスケット交換	約2日	1
		○弁類	手動弁、圧空作動弁作動不良	ダイヤフラム破損、軸破損等	・弁交換	約1日	1
			漏えい	パッキン劣化	・パッキン交換、弁交換	約1日	1
		○流量計	流量計測不可	流量計ガラス管破損等	・流量計交換	約1日	1
○計装計器	指示異常	計装配管の閉塞	・エアブロー等	約1日	1		
共通	換気・ユーティリティ供給	○硝酸供給設備 (ポンプ、弁)	硝酸供給ラインの漏えい	フランジ部のガスケット劣化	・ガスケット交換	約2日	1
			硝酸供給停止	硝酸ポンプの故障	・別系統（手動操作）で移送	約1日	5
	○蒸気供給設備 (ボイラー、弁)	蒸気供給ラインの漏えい	パッキン劣化	・パッキン交換、弁交換	約3日	1	
			配管のピンホール	・クランプ等による補修	約7日	1	
		蒸気供給停止	ボイラーの故障	・予備ボイラーへの切替え	約1日	1	

別紙5-2-8

表-1 工程洗浄による核燃料物質の取出し時に想定される主な不具合事象と処置対策 (14/15)

系統	操作項目	主な操作内容 (使用する設備)	操作に伴う不具合事象	想定される要因	処置対策	処置対策 にかかる 期間	不具合 ケース
共通	換気・ユーティリティ供給	○純水供給設備 (ポンプ, 弁)	純水供給ラインの漏えい	パッキン劣化	・パッキン交換, 弁交換	約3日	1
				配管のピンホール	・クランプ等による補修	約3日	1
			純水供給停止	純水ポンプの故障	・予備機への切替え	約1日	4
		○温水供給設備 (ポンプ, 弁)	温水供給ラインの漏えい	パッキン劣化	・パッキン交換, 弁交換	約3日	1
				配管のピンホール	・クランプ等による補修	約3日	1
			温水供給停止	温水ポンプの故障	・予備機への切替え	約1日	4
		○圧縮空気設備 (圧縮機, 弁)	圧空供給ラインの漏えい	パッキン劣化	・パッキン交換, 弁交換	約3日	1
				配管のピンホール	・クランプ等による補修	約3日	1
			圧空供給停止	脱湿器の故障	・予備機への切替え	約1日	5
				空気圧縮機の故障	・予備機への切替え	約1日	5
		○冷却水供給設備 (ポンプ, 弁)	冷却水供給ラインの漏えい	パッキン劣化	・パッキン交換, 弁交換	約3日	1
				配管のピンホール	・クランプ等による補修	約3日	1
			冷却水供給停止	冷却水ポンプの故障	・予備機への切替え	約1日	3, 4
		○冷水供給設備 (ポンプ, 弁)	冷水供給ラインの漏えい	パッキン劣化	・パッキン交換, 弁交換	約3日	1
				配管のピンホール	・クランプ等による補修	約3日	1
				熱交換器の漏れ, 詰り	・予備機への切替え	約1日	1
			冷水供給停止	冷水ポンプの故障	・予備機への切替え	約1日	4

別紙 5-2-8

表-1 工程洗浄による核燃料物質の取出し時に想定される主な不具合事象と処置対策 (15/15)

系統	操作項目	主な操作内容 (使用する設備)	操作に伴う不具合事象	想定される要因	処置対策	処置対策 にかかる 期間	不具合 ケース
共通	換気・ユーティリティ供給	○浄水供給設備 (ポンプ, 弁)	浄水供給ラインの漏えい	パッキン劣化	・パッキン交換, 弁交換	約3日	1
				配管のピンホール	・クランプ等による補修	約3日	1
			浄水供給停止	浄水ポンプの故障	・予備機への切替え	約1日	4
		○真空供給設備 (ポンプ, 弁)	真空供給ラインの漏えい	パッキン劣化	・パッキン交換, 弁交換	約7日	1
				配管のピンホール	・クランプ等による補修	約7日	1
			真空供給停止	真空ポンプの故障	・予備機への切替え	約1日	4
		○建家, セル換気 (排風機)	Vベルト破損	Vベルト劣化	・Vベルト交換	約1日	5
			換気停止 負圧維持不可	電動機故障 摺動部噛みこみ	・予備機への切替え	約1日	3

別紙 5-2-8

## 漏えいに対する安全性

## 1. 概要

工程洗浄の対象機器は、高経年化や長期停止により考えられる不具合を考慮し事前に入念な設備点検及び整備を行い、工程洗浄を確実に実施する。

しかし、工程洗浄の対象機器の主な機器は、設置後 40 年を超えている機器もあることから、長期使用に伴う万一の腐食故障等により回収可能核燃料物質が漏えいした場合の安全性を確認する。

漏えい事象が発生した場合の安全性の評価としては、既存の設備で漏えい事象を検知でき、漏えい液を確実に回収できる設計であることを確認する。

## 2. 確認方法

工程洗浄の対象機器及び配管に対して、回収可能核燃料物質の漏えい先、漏えいの検知方法、漏えい液の回収方法及び回収した漏えい液の送液先を確認する。

## 3. 確認結果

工程洗浄の対象機器及び配管から回収可能核燃料物質の漏えい事象が発生したとしても、漏えい液は、ドリフトレイに設置した漏えい検知装置等により検知でき、形状で臨界管理されたドリフトレイ等で安全に保持される。ドリフトレイ等に保持された漏えい液は、スチームジェット等の回収装置により安全に回収できることを確認した（表-1 参照）。

なお、プルトニウム溶液受槽（276V20）から低濃度のプルトニウム溶液の漏えいが生じた場合は、ドリフトレイへウラン溶液を供給し、低濃度のプルトニウム溶液とウラン溶液を混合した後スチームジェットにより送液する。また、漏えいが生じた機器と漏えい液の送液先が同じ機器の場合（リワーク工程の受槽（276V10））は、漏えい液を回収しながら中間貯槽（276V12-V15）等に送液する対応を行う。

表-1 工程洗浄の対象機器及び配管に漏えい事象が発生した場合の漏えい液の回収の方法(1/8)

回収可能 核燃料物質	建家	対象機器（配管含む）	設置セル等	漏えい先	漏えいの検知手段	漏えい液の 回収装置	漏えい液の 送液先
せん断粉末 の溶解液	MP	濃縮ウラン溶解槽 (242R12)	濃縮ウラン溶解セル (R003)	ドリフトレイ (204U003)	液位上限注意 (204LW+003)	スチームジェット (204J003A)	洗浄槽 (235V10)
		洗浄液受槽 (242V13)	給液調整セル (R006)	ドリフトレイ (204U006)	液位上限注意 (204LW+006)	スチームジェット (204J006A)	
		溶解槽溶液受槽 (243V10)					
		パルスフィルタ給液槽 (243V14)					
		パルスフィルタ (243F16)	分離第1セル (R107A)	ドリフトレイ (204U107A)	漏えい検知装置 (204LW+107A)	スチームジェット (204J107A)	受槽 (276V10)
		配管 (242R12→243V10)	放射性配管分岐室 (R027)	ドリフトレイ (204U027)	液位上限注意 (204LW+027)	スチームジェット (204J027)	洗浄槽 (235V10)
		パルス発生槽 (243V17)	給液調整セル (R006)	ドリフトレイ (204U006)	液位上限注意 (204LW+006)	スチームジェット (204J006A)	洗浄槽 (235V10)
		調整槽 (251V10)					
		給液槽 (251V11)					
		エアリフト中間貯槽 (251V114)					
		ダネード給液槽 (251V118)	分離第1セル (R107A)	ドリフトレイ (204U107A)	漏えい検知装置 (204LW+107A)	スチームジェット (204J107A)	受槽 (276V10)
		呼水槽 (251V120)					
		分離第1抽出器 (252R11)					
		希釈剤洗浄器 (252R10)					

表-1 工程洗浄の対象機器及び配管に漏えい事象が発生した場合の漏えい液の回収の方法(2/8)

回収可能 核燃料物質	建家	対象機器（配管含む）	設置セル等	漏えい先	漏えいの検知手段	漏えい液の 回収装置	漏えい液の 送液先
せん断粉末 の溶解液	MP	分配器 (252D12)	給液調整セル (R006)	ドリフトレイ (204U006)	液位上限注意 (204LW+006)	スチームジェット (204J006A)	洗浄槽 (235V10)
		高放射性廃液中間貯槽 (252V14)					
		呼水槽 (252V153)					
		高放射性廃液蒸発缶 (271E20)	高放射性廃液濃縮セル (R018)	ドリフトレイ (204U018)	漏えい検知装置 (204LW+018)	スチームジェット (204J018A)	呼水槽 (273V293)
		分配器 (272D10, D11)	分配器セル (R216)	ドリフトレイ (204U216) から重力流 によりドリフトレイ (204U017) へ	漏えい検知装置 (204LW+017)	スチームジェット (204J017)	高放射性廃液貯槽 (272V12, V14, V16, V18)
	HAW	分配器 (272D12)	分配器セル (R201)	ドリフトレイ (272U201) から重力流 により水封槽 (272V206) へ	ドリフトレイ流 量上限警報 (272FA+201)	無 (重力流)	水封槽 (272V206)
		分配器 (272D13)	分配器セル (R202)	ドリフトレイ (272U202) から重力流 により水封槽 (272V207) へ	ドリフトレイ流 量上限警報 (272FA+202)	無 (重力流)	水封槽 (272V207)
		中間貯槽 (272V37, V38)	中間貯槽セル (R008)	ドリフトレイ (272U008)	漏えい検知装置 (272LA+008)	スチームジェット (272J0081)	水封槽 (272V206)
						スチームジェット (272J0082)	放射性廃液貯槽 (272V50)
						スチームジェット (272J0083)	水封槽 (272V207)
		高放射性廃液貯槽 (272V31)	高放射性廃液貯槽セル (R001)	ドリフトレイ (272U001)	漏えい検知装置 (272LA+001)	スチームジェット (272J0011)	水封槽 (272V206)
						スチームジェット (272J0012)	放射性廃液貯槽 (272V50)
スチームジェット (272J0013)	水封槽 (272V207)						

別紙 5-3-3

表-1 工程洗浄の対象機器及び配管に漏えい事象が発生した場合の漏えい液の回収の方法(3/8)

回収可能核燃料物質	建家	対象機器（配管含む）	設置セル等	漏えい先	漏えいの検知手段	漏えい液の回収装置	漏えい液の送液先
せん断粉末の溶解液	HAW	高放射性廃液貯槽 (272V32)	高放射性廃液貯槽セル (R002)	ドリフトレイ (272U002)	漏えい検知装置 (272LA+002)	スチームジェット (272J0021)	水封槽 (272V206)
						スチームジェット (272J0022)	放射性廃液貯槽 (272V50)
						スチームジェット (272J0023)	水封槽 (272V207)
		高放射性廃液貯槽 (272V33)	高放射性廃液貯槽セル (R003)	ドリフトレイ (272U003)	漏えい検知装置 (272LA+003)	スチームジェット (272J0031)	水封槽 (272V206)
						スチームジェット (272J0032)	放射性廃液貯槽 (272V50)
						スチームジェット (272J0033)	水封槽 (272V207)
		高放射性廃液貯槽 (272V34)	高放射性廃液貯槽セル (R004)	ドリフトレイ (272U004)	漏えい検知装置 (272LA+004)	スチームジェット (272J0041)	水封槽 (272V206)
						スチームジェット (272J0042)	放射性廃液貯槽 (272V50)
						スチームジェット (272J0043)	水封槽 (272V207)
		高放射性廃液貯槽 (272V35)	高放射性廃液貯槽セル (R005)	ドリフトレイ (272U005)	漏えい検知装置 (272LA+005)	スチームジェット (272J0051)	水封槽 (272V206)
						スチームジェット (272J0052)	放射性廃液貯槽 (272V50)
						スチームジェット (272J0053)	水封槽 (272V207)
低濃度のプルトニウム溶液	MP	中間貯槽 (266V12)	プルトニウム精製セル (R015)	ドリフトレイ (204U015.2)	漏えい検知装置 (204LW+015.2)	スチームジェット (204J015.2)	プルトニウム溶液受槽 (276V20)
		希釈槽 (266V13)					
		プルトニウム溶液蒸発缶 (266E20)	プルトニウム濃縮セル (R125B)	ドリフトレイ (204U125B) から重力流によりドレン受槽 (266V40, V41) へ	漏えい検知装置 (204FW+125B)	無 (重力流)	ドレン受槽 (266V40, V41)

別紙 5-3-4

表-1 工程洗浄の対象機器及び配管に漏えい事象が発生した場合の漏えい液の回収の方法(4/8)

回収可能核燃料物質	建家	対象機器（配管含む）	設置セル等	漏えい先	漏えいの検知手段	漏えい液の回収装置	漏えい液の送液先
低濃度のプルトニウム溶液	MP	プルトニウム濃縮液受槽 (266V23)	プルトニウム濃縮セル (R025A)	ドリフトレイ (204U025A) から重力流によりドレン受槽 (266V40, V41) へ	ドレン受槽液位計 266LIR41.1	無 (重力流)	ドレン受槽 (266V40, V41)
		循環槽 (266V24)					
		計量槽 (266V25)	グローブボックス (266X63)	グローブボックス (266X63) から重力流によりドレン受槽 (266V40, V41) へ	ドレン受槽液位計 266LIR41.1	無 (重力流)	
		プルトニウム製品貯槽 (267V10～12)	プルトニウム製品貯蔵セル (R023)	ドリフトレイ (204U023)	漏えい検知装置 (204LW+023)	ポンプ (267P101)	プルトニウム製品貯槽 (267V10～V16)
		プルトニウム製品貯槽 (267V13～V16)	プルトニウム製品貯蔵セル (R041)	ドリフトレイ (204U041)	漏えい検知装置 (204LW+041)	ポンプ (267P101)	プルトニウム製品貯槽 (267V10～V16)
		計量槽 (267V102)	グローブボックス (266X62B)	グローブボックス (266X62B) から重力流によりプルトニウム製品貯槽 (267V10) へ	目視確認 (サンプリング時作業員が常駐) *1 プルトニウム製品貯槽液位上昇警報 267LA+10.2	無 (重力流)	プルトニウム製品貯槽 (267V10)
		プルトニウム溶液受槽 (276V20)	リワークセル (R008)	ドリフトレイ (204U008)	漏えい検知装置 (204LW+008)	スチームジェット (204J008A)	プルトニウム溶液とウラン溶液を混合してから受槽 (276V10) へ送液
		中間貯槽 (276V12～V15)					受槽 (276V10)
		受槽 (276V10)					漏えい液を受槽 (276V10) に回収しながら中間貯槽 (276V12～V15) 等に送液
		希釈剤洗浄器 (252R10)	分離第1セル (R107A)	ドリフトレイ (204U107A)	漏えい検知装置 (204LW+107A)	スチームジェット (204J107A)	受槽 (276V10)

表-1 工程洗浄の対象機器及び配管に漏えい事象が発生した場合の漏えい液の回収の方法(5/8)

回収可能核燃料物質	建家	対象機器（配管含む）	設置セル等	漏えい先	漏えいの検知手段	漏えい液の回収装置	漏えい液の送液先
低濃度のプルトニウム溶液	MP	分配器 (252D12)	給液調整セル (R006)	ドリフトレイ (204U006)	液位上限注意 (204LW+006)	スチームジェット (204J006A)	洗浄槽 (235V10)
		高放射性廃液中間貯槽 (252V14)					
		呼水槽 (252V153)					
		高放射性廃液蒸発缶 (271E20)	高放射性廃液濃縮セル (R018)	ドリフトレイ (204U018)	漏えい検知装置 (204LW+018)	スチームジェット (204J018A)	呼水槽 (273V293)
		分配器 (272D10, D11)	分配器セル (R216)	ドリフトレイ (204U216) から重力流 によりドリフトレイ (204U017) へ	漏えい検知装置 (204LW+017)	スチームジェット (204J017)	高放射性廃液貯槽 (272V12, V14, V16, V18)
	HAW	分配器 (272D12)	分配器セル (R201)	ドリフトレイ (272U201) から重力流 により水封槽 (272V206) へ	ドリフトレイ流 量上限警報 (272FA+201)	無 (重力流)	水封槽 (272V206)
		分配器 (272D13)	分配器セル (R202)	ドリフトレイ (272U202) から重力流 により水封槽 (272V207) へ	ドリフトレイ流 量上限警報 (272FA+202)	無 (重力流)	水封槽 (272V207)
		中間貯槽 (272V37, V38)	中間貯槽セル (R008)	ドリフトレイ (272U008)	漏えい検知装置 (272LA+008)	スチームジェット (272J0081)	水封槽 (272V206)
						スチームジェット (272J0082)	放射性廃液貯槽 (272V50)
						スチームジェット (272J0083)	水封槽 (272V207)
		高放射性廃液貯槽 (272V31)	高放射性廃液貯槽セル (R001)	ドリフトレイ (272U001)	漏えい検知装置 (272LA+001)	スチームジェット (272J0011)	水封槽 (272V206)
						スチームジェット (272J0012)	放射性廃液貯槽 (272V50)
スチームジェット (272J0013)	水封槽 (272V207)						

別紙 5-3-6

表-1 工程洗浄の対象機器及び配管に漏えい事象が発生した場合の漏えい液の回収の方法(6/8)

回収可能核燃料物質	建家	対象機器（配管含む）	設置セル等	漏えい先	漏えいの検知手段	漏えい液の回収装置	漏えい液の送液先
低濃度のプルトニウム溶液	HAW	高放射性廃液貯槽 (272V32)	高放射性廃液貯槽セル (R002)	ドリフトレイ (272U002)	漏えい検知装置 (272LA+002)	スチームジェット (272J0021)	水封槽 (272V206)
						スチームジェット (272J0022)	放射性廃液貯槽 (272V50)
						スチームジェット (272J0023)	水封槽 (272V207)
		高放射性廃液貯槽 (272V33)	高放射性廃液貯槽セル (R003)	ドリフトレイ (272U003)	漏えい検知装置 (272LA+003)	スチームジェット (272J0031)	水封槽 (272V206)
						スチームジェット (272J0032)	放射性廃液貯槽 (272V50)
						スチームジェット (272J0033)	水封槽 (272V207)
		高放射性廃液貯槽 (272V34)	高放射性廃液貯槽セル (R004)	ドリフトレイ (272U004)	漏えい検知装置 (272LA+004)	スチームジェット (272J0041)	水封槽 (272V206)
						スチームジェット (272J0042)	放射性廃液貯槽 (272V50)
						スチームジェット (272J0043)	水封槽 (272V207)
		高放射性廃液貯槽 (272V35)	高放射性廃液貯槽セル (R005)	ドリフトレイ (272U005)	漏えい検知装置 (272LA+005)	スチームジェット (272J0051)	水封槽 (272V206)
						スチームジェット (272J0052)	放射性廃液貯槽 (272V50)
						スチームジェット (272J0053)	水封槽 (272V207)
ウラン溶液	MP	中間貯槽 (263V10)	ウラン濃縮脱硝室 (A022)	ドリフトレイ (204U022)	漏えい検知装置 (204LW+022)	無 <sup>*2</sup>	一時保管容器
		ウラン溶液蒸発缶 (第1段) (263E11-T12)	ウラン濃縮脱硝室 (A122, A222, A322)	ドリフトレイ (204U12)	無 <sup>*1</sup>	無 (重力流)	ドリフトレイ (204U18) を経由し、低 放射性廃液中間貯槽 (275V20) へ
		濃縮液受槽 (263V17)	ウラン濃縮脱硝室 (A122)	ドリフトレイ (204U18)	無 <sup>*1</sup>	無 (重力流)	
		希釈槽 (263V18)					

別紙 5-3-7

表-1 工程洗浄の対象機器及び配管に漏えい事象が発生した場合の漏えい液の回収の方法(7/8)

回収可能 核燃料物質	建家	対象機器（配管含む）	設置セル等	漏えい先	漏えいの検知手段	漏えい液の 回収装置	漏えい液の 送液先
ウラン溶液	MP	ダネード給液槽 (263V103)	ウラン濃縮脱硝室 (A322)	ドリフトレイ (204U12)	無*1	無 (重力流)	ドリフトレイ (204U18) を経由し、低 放射性廃液中間貯槽 (275V20) へ
		呼水槽 (263V105)					
		一時貯槽 (263V51～V58)	分岐室 (A147)	ドリフトレイ (204U147) から重力流 によりドリフトレイ (204U022) へ	液位上限注意 (204LW+022)	無*2	中間貯槽 (263V10)
		貯槽 (201V77～79)	ウラン試薬調整室 (G644)	ドリフトレイ (201U762) から重力流 により溢流槽 (201V75) へ	201LIW+75 *1	無 (重力流)	受流槽 (201V75)
		ウラン調整槽 (201V70)	ウラン試薬調整室 (G544)	ドリフトレイ (201U752)	276LR12.1 *1	無 (重力流)	中間貯槽 (276V12-V15)
		受流槽 (201V75)	ウラン試薬調整室 (G544)	ドリフトレイ (201U752)	276LR12.1 *1	無 (重力流)	中間貯槽 (276V12-V15)
	DN	UNH 受槽 (263V30)	UNH 受槽室 (A016)	ドリフトレイ (263U30)	漏えい検知装置 (263LW+30.3)	無*1	UNH 受槽 (263V31)
		UNH 受槽 (263V31)	UNH 受槽室 (A017)	ドリフトレイ (263U31)	漏えい検知装置 (263LW+31.3)	無*1	UNH 受槽 (263V30)
		UNH 貯槽 (263V32)	UNH 貯蔵室 (A012)	ドリフトレイ (263U32)	漏えい検知装置 (263LW+32.3)	スチームジェット (263J325)	UNH 受槽 (263V33)
		UNH 貯槽 (263V33)	UNH 貯蔵室 (A014)	ドリフトレイ (263U33)	漏えい検知装置 (263LW+33.3)	スチームジェット (263J335)	UNH 受槽 (263V32)
		UNH 供給槽 (263V34)	濃縮脱硝室 (A211)	ドリフトレイ (264U40)	漏えい検知装置 (264LW+40.3)	無 (重力流)	溶解液受槽 (264V76)
		蒸発缶 (263E35)		ドリフトレイ (263U35) から重力流に よりドリフトレイ (264U40) へ			
		濃縮液受槽 (264V40)		ドリフトレイ (264U40)			
		溶解液受槽 (264V76)	廃液貯蔵室 (A011)	ドリフトレイ (264U75)	漏えい検知装置 (264LW+75.3)	無*2	一時保管容器

表-1 工程洗浄の対象機器及び配管に漏えい事象が発生した場合の漏えい液の回収の方法(8/8)

回収可能核燃料物質	建家	対象機器（配管含む）	設置セル等	漏えい先	漏えいの検知手段	漏えい液の回収装置	漏えい液の送液先
ウラン溶液	PCDF	硝酸ウラニル受入計量槽 (P11V13)	受入室 (A027)	受入室ドリフトレイ (P11U027-1)	液位上限注意 (P11LW+13-4)	無*1	硝酸ウラニル貯槽 (P11V14)
		硝酸ウラニル貯槽 (P11V14)	受入室 (A027)	受入室ドリフトレイ (P11U027-2)	液位上限注意 (P11LW+14-3)	無*1	硝酸ウラニル受入計量槽 (P11V13)
その他の核燃料物質 (工程内の洗浄液等)	MP	中間貯槽 (255V12)	分離第3セル (R109B)	ドリフトレイ (204U109B)	漏えい検知装置 (204LW+109B)	スチームジェット (204J109B)	受槽 (276V10)
		中間貯槽 (261V12)	ウラン精製セル (R114)	ドリフトレイ (204U114)	漏えい検知装置 (204LW+114)	スチームジェット (204J114)	受槽 (276V10)
		プルトニウム精製抽出器 (265R20, R21, R22)	プルトニウム精製セル (R015)	ドリフトレイ (204U015.2)	漏えい検知装置 (204LW+015.2)	スチームジェット (204J015.2)	プルトニウム溶液受槽 (276V20)
		濃縮液受槽 (273V50)	酸回収セル (R020)	ドリフトレイ (204U020)	液位上限注意 (204LW+020)	スチームジェット (204J020)	酸回収中間貯槽 (273V20)
	CB	中間貯槽 (108V10, V11)	廃液貯蔵セル (R027)	ドリフトレイ (108R027)	漏えい検知装置 (108LW+027)	スチームジェット (108J105)	中間貯槽 (108V20)

\*1 送液時には要員が現場に常駐する。また、現場巡視（1回/日以上）により漏えいの有無を確認する。

\*2 ウラン溶液を取り扱う機器を設置する部屋は要員が入室して直接回収作業を行う。

工程洗浄における崩壊熱除去機能及び  
水素掃気機能喪失時の影響評価について

## 1. 概要

工程洗浄の対象機器の崩壊熱除去機能及び水素掃気機能を有する動的機器は 2 基（常用 1 基/予備 1 基）で構成され、使用中の機器が故障したとしても圧力警報や負圧警報により速やかに異常を検知でき、自動的に予備機に切り替わるなどにより短期間（7 日程度）で復旧可能であり、施設の安全性に問題はないものの、仮に崩壊熱除去機能及び水素掃気機能が喪失した場合の影響評価として、沸騰到達時間及び水素の爆発下限界濃度到達時間（以下「爆発下限界到達時間」という。）を評価する。

評価の結果、工程洗浄時に崩壊熱除去機能が喪失した場合の沸騰到達時間は 32 日程度、水素掃気機能が喪失した場合の爆発下限界到達時間は 15 日程度であり、崩壊熱除去機能及び水素掃気機能を復旧するまでの時間に対して十分な時間余裕があることを確認した。

## 2. 回収可能核燃料物質のインベントリの設定

工程洗浄において再処理設備本体等から取り出す回収可能核燃料物質は、「別紙 1 回収可能核燃料物質の取出方法」の「3. 回収可能核燃料物質の場所及び量について」に示すとおりであり、以下のように保守的に設定する。

### (1) せん断粉末

せん断粉末の質量は、せん断粉末の質量測定の際のばらつきを考慮し、保守性を持たせて 1.1 を乗じた ████████ として設定する。また、評価に用いる 1 溶解当たりのせん断粉末の量は 30 kg と設定する。

せん断粉末の放射エネルギー等は、ORIGEN 計算により設定する。評価に用いる核種ごとの放射エネルギーや発熱量は、事業指定申請書に記載している基準燃料（軽水炉燃料及びふげん MOX タイプ B 燃料）に対して、平成 19 年のキャンペーン終了後からの冷却期間を考慮した年数（10 年間）を設定して求める。それら燃料の ORIGEN 計算結果から ████████ 分の核種ごとに放射エネルギーや発熱量を比較し、値の大きい方を選択して、安全評価用のせん断粉末の放射エネルギーとする。ORIGEN 計算の条件を表-2-1 に、せん断粉末の核種ごとの放射エネルギー等を表-2-2 に示す。

### (2) 低濃度のプルトニウム溶液

2021 年 PIT 時の分析値（プルトニウム濃度、アメリシウム 241 濃度及びウラン濃度）により求めたインベントリに保守性を持たせるために、分析誤差を考慮し 1.1 を乗じる。アメリシウム 241 は、プルトニウム 241（半減期：14.35 年）の  $\beta$  崩壊により増加することから、保守的に 10 年間（2031 年まで）の増加分（プルトニウム 241 の減衰は考慮しない。）を加えたものを安全評価用のインベントリとする（表-2-3）。

### (3) ウラン溶液

現有溶液の送液経路の機器は 2021 年 PIT 時のウラン濃度と設計図書の使用液量から安全評価用のインベントリを設定する。ウラン脱硝施設（DN）の蒸発缶により濃縮した

ウラン溶液を受け入れる機器のウラン濃度は、設計図書に記載された各蒸発缶の最大ウラン濃度（1200 gU/L）及び使用液量から安全評価用のインベントリを設定する（表-2-4）。

(4) その他の核燃料物質（工程内の洗浄液等）

分析所（CB）の分析試料等を保有する中間貯槽（108V10 及び 108V11）を評価対象とする。分析所（CB）中間貯槽（108V10 及び 108V11）のウラン量及びプルトニウム量は、2021 年 PIT 時のウラン濃度及びプルトニウム濃度より求めたインベントリに保守性を持たせるために 1.1 を乗じて設定する。アメリカシウム 241 は、プルトニウム 241（半減期：14.35 年）の  $\beta$  崩壊により増加することから、保守的に 10 年間（2031 年まで）の増加分（プルトニウム 241 の減衰は考慮しない。）を加えたものを安全評価用のインベントリとする。なお、プルトニウムの同位体組成及び初期アメリカシウム 241 濃度等の分析値がない場合は、低濃度のプルトニウム溶液を扱う機器の分析値から保守的に設定する（表-2-5）。

3. 影響評価の方法及び結果について

(1) 沸騰到達時間の評価

沸騰到達時間は、廃止措置計画変更認可申請書 添四別紙 1-1-26「高放射性廃液貯蔵場(HAW)における高放射性廃液の沸騰到達時間の計算書」（令和 3 年 4 月 27 日認可）と同様に、全交流電源喪失時に溶液の発熱量が全て溶液の温度上昇に寄与するものとして保守的に評価する。

評価の結果、沸騰到達時間は 32 日以上であり十分な時間裕度があることを確認した。詳細は「参考資料 1-1 工程洗浄における崩壊熱除去機能喪失時の沸騰到達時間について」に示す。

(2) 爆発下限界到達時間の評価

爆発下限界到達時間は、機器内の空間容量、水素発生量等から算出した。飽和水素濃度は、機器内の水素濃度が平衡状態に達したものと考え、水素発生量と機器内に供給される気体量から算出し、水素発生量は水素発生 G 値と各機器が内包する溶液の発熱量の積から算出する。機器内の空間容量については、空間容量の小さい方がより保守的な評価となることから、原則、各機器の設計図書における全容量と使用液量の差から求めた空間容量を設定し、保守的に評価する。

評価の結果、爆発下限界到達時間は 15 日以上であり十分な時間裕度があることを確認した。詳細は「参考資料 1-2 工程洗浄における水素掃気機能喪失時の水素の爆発下限界濃度到達時間について」に示す。

表-2-1 ORIGEN 計算の条件

炉型	軽水型原子炉	新型転換炉原型炉	出典（設定根拠）
燃料	PWR 燃料 (UO <sub>2</sub> )	MOX タイプ B	
ウラン濃縮度			東海再処理施設の軽水炉基準燃料及びふげん MOX 燃料の内蔵放射能 <sup>1)</sup>
プルトニウム fissile 率	-		
初期プルトニウム装荷量	-		・過去の安全審査に用いた値
燃焼度	35,000 MWD/t	20,000 MWD/t	・「再処理事業指定申請書」より 1 体当たりの最高燃焼度を採用
比出力	35 MW/t	20 MW/t	・再処理事業指定申請書
初期不純物量 水素	2 ppm	0 ppm	・軽水炉：「発電用核燃料物質に関する技術基準を定める省令」 ・MOX-B：「燃料設計認可申請書」
初期不純物量 炭素	100 ppm	200 ppm	
初期不純物量 フッ素	15 ppm	25 ppm	
初期不純物量 窒素	40 ppm	200 ppm	・東海再処理施設における C-14 の挙動 <sup>2)</sup>
Pu 同位体組成率	-		・過去の安全審査を基に ORIGEN2.2 により再計算
Am-241 含有率	-	0.05%	・過去の安全審査に用いた値
冷却期間	3,830 日	4,380 日	・各燃料の冷却期間（軽水炉：180 日，MOX：2 年）に 10 年（3650 日）を加えた日数

参考文献

- 1) 「東海再処理施設の軽水炉基準燃料及びふげん MOX 燃料の内蔵放射能」（白井他 2005）JAERI-Research 2005-001
- 2) 「東海再処理施設における C-14 の挙動」（永里他 2001）JNC TN8410 2001-021

表-2-2 安全評価用のせん断粉末 [ ] の仕様 (主要核種抜粋)

核種	発熱量[W]			放射エネルギー[Bq]		
	軽水炉 (PWR-UO <sub>2</sub> )	新型転換炉 (ATR-MOX B)	せん断粉末	軽水炉 (PWR-UO <sub>2</sub> )	新型転換炉 (ATR-MOX B)	せん断粉末
H-3	$2.3 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-3}$	$2.3 \times 10^{-3}$	$2.5 \times 10^{12}$	$1.7 \times 10^{12}$	$2.5 \times 10^{12}$
C-14	$4.4 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-4}$	$5.6 \times 10^9$	$1.3 \times 10^{10}$	$1.3 \times 10^{10}$
Kr-85	1.7	$7.8 \times 10^{-1}$	1.7	$4.1 \times 10^{13}$	$1.9 \times 10^{13}$	$4.1 \times 10^{13}$
Sr-89	0 <sup>*1</sup>	$2.2 \times 10^{-18}$	$2.2 \times 10^{-18}$	0 <sup>*1</sup>	$2.3 \times 10^{-5}$	$2.3 \times 10^{-5}$
Sr-90	$1.6 \times 10$	6.6	$1.6 \times 10$	$4.9 \times 10^{14}$	$2.1 \times 10^{14}$	$4.9 \times 10^{14}$
Y-90	$7.4 \times 10$	$3.2 \times 10$	$7.4 \times 10$	$4.9 \times 10^{14}$	$2.1 \times 10^{14}$	$4.9 \times 10^{14}$
Zr-95	$1.6 \times 10^{-15}$	$1.1 \times 10^{-13}$	$1.1 \times 10^{-13}$	$1.2 \times 10^{-2}$	$8.4 \times 10^{-1}$	$8.4 \times 10^{-1}$
Nb-95	$3.4 \times 10^{-15}$	$2.4 \times 10^{-13}$	$2.4 \times 10^{-13}$	$2.6 \times 10^{-2}$	1.9	1.9
Tc-99	$1.5 \times 10^{-3}$	$8.9 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{11}$	$6.6 \times 10^{10}$	$1.1 \times 10^{11}$
Ru-103	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>
Rh-106	$7.9 \times 10^{-1}$	1.6	1.6	$3.0 \times 10^{12}$	$6.2 \times 10^{12}$	$6.2 \times 10^{12}$
Sb-125	$7.0 \times 10^{-1}$	$4.4 \times 10^{-1}$	$7.0 \times 10^{-1}$	$8.3 \times 10^{12}$	$5.2 \times 10^{12}$	$8.3 \times 10^{12}$
I-129	$3.2 \times 10^{-6}$	$2.1 \times 10^{-6}$	$3.2 \times 10^{-6}$	$2.6 \times 10^8$	$1.7 \times 10^8$	$2.6 \times 10^8$
I-131	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>
Cs-134	$1.1 \times 10$	5.3	$1.1 \times 10^1$	$4.0 \times 10^{13}$	$1.9 \times 10^{13}$	$4.0 \times 10^{13}$
Cs-137	$2.0 \times 10$	$1.2 \times 10^1$	$2.0 \times 10^1$	$6.8 \times 10^{14}$	$4.1 \times 10^{14}$	$6.8 \times 10^{14}$
Ba-137m	$6.8 \times 10$	$4.1 \times 10$	$6.8 \times 10^1$	$6.4 \times 10^{14}$	$3.8 \times 10^{14}$	$6.4 \times 10^{14}$
Ce-141	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>
Ce-144	$1.5 \times 10^{-2}$	$2.4 \times 10^{-2}$	$2.4 \times 10^{-2}$	$8.6 \times 10^{11}$	$1.4 \times 10^{12}$	$1.4 \times 10^{12}$
Pr-144	$1.7 \times 10^{-1}$	$2.7 \times 10^{-1}$	$2.7 \times 10^{-1}$	$8.6 \times 10^{11}$	$1.4 \times 10^{12}$	$1.4 \times 10^{12}$
Pr-144m	$9.5 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{10}$	$1.6 \times 10^{10}$	$1.6 \times 10^{10}$
Pm-147	$6.9 \times 10^{-1}$	$7.5 \times 10^{-1}$	$7.5 \times 10^{-1}$	$7.1 \times 10^{13}$	$7.7 \times 10^{13}$	$7.7 \times 10^{13}$
Sm-151	$1.1 \times 10^{-2}$	$7.5 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-2}$	$3.5 \times 10^{12}$	$2.4 \times 10^{12}$	$3.5 \times 10^{12}$
Eu-154	7.7	4.6	7.7	$3.2 \times 10^{13}$	$1.9 \times 10^{13}$	$3.2 \times 10^{13}$
Eu-155	$2.3 \times 10^{-1}$	$1.5 \times 10^{-1}$	$2.3 \times 10^{-1}$	$1.2 \times 10^{13}$	$7.9 \times 10^{12}$	$1.2 \times 10^{13}$

※1 ORIGEN 計算上、 $10^{-24}$  g 以下の核種のインベントリは「0」として取り扱う。