

分離精製工場における使用済燃料せん断粉末の取出し

Removal of Spent Fuel Sheared Powder for Decommissioning of Main Plant

西野 紗樹 岡田 純平 渡邊 一樹 古内 雄太
横田 知 矢田 祐士 草加 翔太 諸角 詩央里
中村 芳信

Saki NISHINO, Jumpei OKADA, Kazuki WATANABE, Yuta FURUUCHI
Satoru YOKOTA, Yuji YADA, Shota KUSAKA, Shiori MOROKADO
and Yoshinobu NAKAMURA

核燃料・バックエンド研究開発部門
核燃料サイクル工学研究所
再処理廃止措置技術開発センター
施設管理部

Facility Management Department
TRP Decommissioning Center
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development

June 2023

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際ライセンスの下に提供されています。
本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の
条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）
より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 JAEA イノベーションハブ 研究成果利活用課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under the
same terms and conditions as CC-BY.

For inquiries regarding this report, please contact Institutional Repository and Utilization Section,
JAEA Innovation Hub, Japan Atomic Energy Agency.

2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan

Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail: ird-support@jaea.go.jp

分離精製工場における使用済燃料せん断粉末の取出し

日本原子力研究開発機構

核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所

再処理廃止措置技術開発センター 施設管理部

西野 紗樹、岡田 純平、渡邊 一樹、古内 雄太、横田 知、
矢田 祐士、草加 翔太、諸角 詩央里、中村 芳信

(2023 年 4 月 4 日受理)

2014 年に廃止措置に移行した東海再処理施設は、2007 年の運転停止時に再処理運転の再開を計画していたことから、分離精製工場（MP）等の一部機器には、核燃料物質（使用済燃料せん断粉末、低濃度プルトニウム溶液、ウラン溶液等）が残留していた。このため、廃止措置の開始に際しては、これらの核燃料物質を順次取り出す工程洗浄を計画し、第一段階として使用済燃料せん断粉末の取出しを実施した。

これまで実施した使用済燃料のせん断処理により、分離精製工場（MP）のセル内には使用済燃料せん断粉末が滞留しており、2016 年 4 月から 2017 年 4 月にかけてセル内の床面、せん断機及び分配器より使用済燃料せん断粉末の回収を保守の一環として実施した。なお、本作業は核燃料物質の取出しを目的としているものの、核物質防護上の理由から、核燃料物質量を記載していない。

回収した使用済燃料せん断粉末の取出しは、核燃料物質を安全かつ早期に取り出すため、濃縮ウラン溶解槽において少量ずつバッチ式（回分式）で溶解し、その溶解液はウラン及びプルトニウムの分離操作を行わずに高放射性廃液貯蔵場（HAW）の高放射性廃液貯槽へ送液した。溶解液の送液後、硝酸及び水を用いて送液経路の押出し洗浄を実施した。本作業では、再処理運転を終了してから約 15 年ぶりに工程設備を稼働させたことから、ベテラン（熟練運転経験者）と若手を組み合わせた体制を整備し、設備点検及び教育訓練（モックアップ訓練）を入念に実施したことで、取出し作業を無事完遂した（2022 年 6 月から同年 9 月実施）。なお、使用済燃料せん断粉末の取出しは、工程機器の一部を稼働させることから、廃止措置計画の変更認可申請を行い、原子力規制委員会の認可を受けた上で実施した。

Removal of Spent Fuel Sheared Powder for Decommissioning of Main Plant

Saki NISHINO, Jumpei OKADA, Kazuki WATANABE, Yuta FURUUCHI, Satoru YOKOTA,
Yuji YADA, Shota KUSAKA, Shiori MOROKADO and Yoshinobu NAKAMURA

Facility Management Department,
TRP Decommissioning Center, Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories,
Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 4, 2023)

Tokai Reprocessing Plant (TRP) which shifted to decommissioning phase in 2014 had nuclear fuel materials such as the spent fuel sheared powder, the diluted plutonium solution and the uranium solution in a part of the reprocessing main equipment because TRP intended to resume reprocessing operations when it suspended the operations in 2007. Therefore, we have planned to remove these nuclear materials in sequence as Flush-out before beginning the decommissioning, and conducted removal of the spent fuel sheared powder as the first stage.

The spent fuel sheared powder that had accumulated in the cell of the Main Plant (MP) as a result of the spent fuel shearing process was recovered from the cell floor, the shearing machine and the distributor between April 2016 and April 2017 as part of maintenance.

Removing the recovered spent fuel sheared powder was conducted between June 2022 and September 2022. In this work, the recovered powder was dissolved in nitric acid at the dissolver in a small amount in order to remove it safely and early, and the dissolved solution was sent to the highly radioactive waste storage tanks without separating uranium and plutonium. Then, the dissolved solution transfer route was rinsed with nitric acid and water. Although about 15 years had passed since previous process operations, the removing work was successfully completed without any equipment failure because of the organization of a system that combines veterans experienced the operation with young workers, careful equipment inspections, and worker education and training. Removing this powder was conducted after revising the decommissioning project and obtaining approval from the Nuclear Regulation Authority owing to operating a part of process equipment.

Keywords: Tokai Reprocessing Plant, Main Plant, Spent Fuel Sheared Powder, Decommissioning, Shearing Process, Dissolution, Process Cleaning, Flush-out

目 次

1. はじめに	1
2. せん断工程のクリーンアップ作業	2
2.1 作業概要	2
2.2 作業実績	4
2.2.1 回収装置の選定及び改良	4
2.2.2 治具類の選定及び改良	7
2.2.3 モックアップ訓練による操作性確認	8
2.2.4 せん断粉末の回収	8
3. 工程洗浄（使用済燃料せん断粉末の取出し）	10
3.1 作業概要	10
3.1.1 作業方針	10
3.1.2 取出し対象核燃料物質	10
3.2 作業方法	12
3.3 準備	15
3.3.1 作業体制の整備	15
3.3.2 設備点検	17
3.3.3 教育訓練	19
3.4 作業実績	25
3.4.1 せん断粉末の濃縮ウラン溶解槽への装荷	25
3.4.2 使用済燃料せん断粉末の溶解	28
3.4.3 使用済燃料せん断粉末の溶解液の高放射性廃液貯槽への送液	32
3.4.4 押出し洗浄	34
3.5 不具合事象への対応	37
4. まとめ	38
謝 辞	38
参考文献	39

Contents

1. Introduction	1
2. Clean-up work of the shearing process	2
2.1 Outline	2
2.2 Result	4
2.2.1 Selection and modification of recovery equipment	4
2.2.2 Selection and modification of jigs	7
2.2.3 Confirming handling ability by mock-up	8
2.2.4 Recovering the spent fuel sheared powder	8
3. Flush-out (removing the spent fuel sheared powder)	10
3.1 Outline	10
3.1.1 Policy	10
3.1.2 Target nuclear materials	10
3.2 Method	12
3.3 Preparation	15
3.3.1 Organization of system	15
3.3.2 Inspection of equipment	17
3.3.3 Lecture and training	19
3.4 Result	25
3.4.1 Loading the spent fuel sheared powder into the dissolver	25
3.4.2 Dissolving the spent fuel sheared powder	28
3.4.3 Sending the dissolved solution to highly radioactive waste storage tanks	32
3.4.4 Cleaning the dissolved solution transfer route	34
3.5 Dealing with equipment malfunction	37
4. Conclusion	38
Acknowledgements	38
References	39

1. はじめに

東海再処理施設（以下「TRP」という。）では 1977 年から 2007 年にかけて約 1,140 トンの使用済燃料を再処理し、ウラン（以下「U」という。）及びプルトニウム（以下「Pu」という。）の分離、回収を行ってきた。2007 年には、2006 年に改定された新耐震指針への適合に向けた耐震性向上工事に着手するため再処理運転を中断した。その後、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震を踏まえて強化された原子力規制委員会の新規制基準への対応等を勘案し、2014 年に TRP は使用済燃料を再処理せずに、施設の管理区域を解除する廃止措置へ移行する方針を示した¹⁾。

原子力施設の廃止措置では、一般的に除染（系統除染）による放射線レベルの低減を行った後、機器及び設備の解体に着手する²⁾。一方、TRP は再処理運転の再開を計画していたため、分離精製工場（以下「MP」という。）等の一部機器内に核燃料物質（次回の運転に供する Pu 溶液及び U 溶液）を保管した状態であった。また、MP のせん断工程内には、これまでの使用済燃料のせん断処理に伴い、核燃料物質を含む使用済燃料せん断粉末（以下「せん断粉末」という。）の一部がセル内及び機器内に残存しており、系統除染の前にこれら核燃料物質を取り出す必要があった。

MP で保管していた Pu 溶液については、全電源喪失時に水素爆発や沸騰に伴う事故により放射性物質を施設外に放出するリスクを低減するため、2014 年 4 月から 2016 年 7 月にかけて通常の脱硝プロセスにより MOX 粉末に転換し固化・安定化を図った³⁾。しかし、機器の構造上、全ての Pu 溶液を MOX 粉末化することはできないため、残った Pu 溶液については、サンプリングが可能となる液位まで硝酸で希釈し、Pu 濃度の低い状態で保管することとした。

また、せん断工程内のせん断粉末については、保守の一環としてせん断工程のクリーンアップ作業を 2016 年 4 月から 2017 年 4 月にかけて実施し、セル床面、せん断機及び分配器内部からマニプレータ等の遠隔操作機器を用いて回収し、セル内で保管していた⁴⁾。

そのため、TRP では系統除染に着手する前に、これらの核燃料物質を工程設備の一部を用いて段階的に取り出す工程洗浄を約 2 年間かけて、リスクの高い順（せん断粉末、低濃度 Pu 溶液、U 溶液等）に実施することとし、2021 年 12 月 17 日に廃止措置計画変更認可申請（2022 年 3 月 1 日一部補正）を行い、2022 年 5 月 17 日に原子力規制委員会の認可を得た⁵⁾。

せん断粉末の取出しにおいては、核燃料物質量を計量する必要があるものの粉末の状態では困難であり、高放射性固体廃棄物としては廃棄できないという課題があった。そのため、リスク低減を念頭に使用する工程及び設備を必要最小限とし、安全かつ早期に取り出す方法として、せん断粉末を使用済燃料と同様に濃縮ウラン溶解槽で全て溶解し、Pu 及び U を計量した後、Pu 及び U の溶媒抽出及び蒸発缶における蒸発濃縮を行わずに高放射性廃液貯蔵場（以下「HAW」という。）の高放射性廃液貯槽に送液することとした。

本稿では、せん断粉末の回収及び 2022 年 6 月 8 日から同年 9 月 12 日にかけて実施したせん断粉末の取出しに係る作業実績について報告する^{*1)}。

※1 本作業は核燃料物質の取出しを目的としているものの、核物質防護上の理由から核燃料物質量を記載していない。

2. せん断工程のクリーンアップ作業

2.1 作業概要

TRPの再処理運転では、受け入れた使用済燃料をチョップ・アンド・リーチ法（Chop and Leach）と呼ばれる方法で機械的にせん断し、約4 cmの小片にした後、分配器を介して濃縮ウラン溶解槽（242R10～R12）に装荷する。せん断処理に伴い、使用済燃料の被覆管内のペレット（ウラン酸化物等）が碎けて粉末状となったものや被覆管の一部等（以下「せん断粉末」という。）が生じる。これまでの使用済燃料のせん断処理に伴い、せん断粉末の一部がせん断機及び分配器の内部に滞留するとともに、せん断機から取り出した使用済燃料の端末部を廃棄物として廃棄物収納缶に収納する際に、端末部に付着していたせん断粉末が飛散しセル内の床面に滞留していた。

このため、工程洗浄開始前の2016年4月から2017年4月にかけて、せん断工程のクリーンアップ作業としてせん断粉末の回収を実施した⁴⁾。

せん断片の処理、せん断粉末の滞留状況をFig.2.1.1、Fig.2.1.2及びFig.2.1.3に示す。

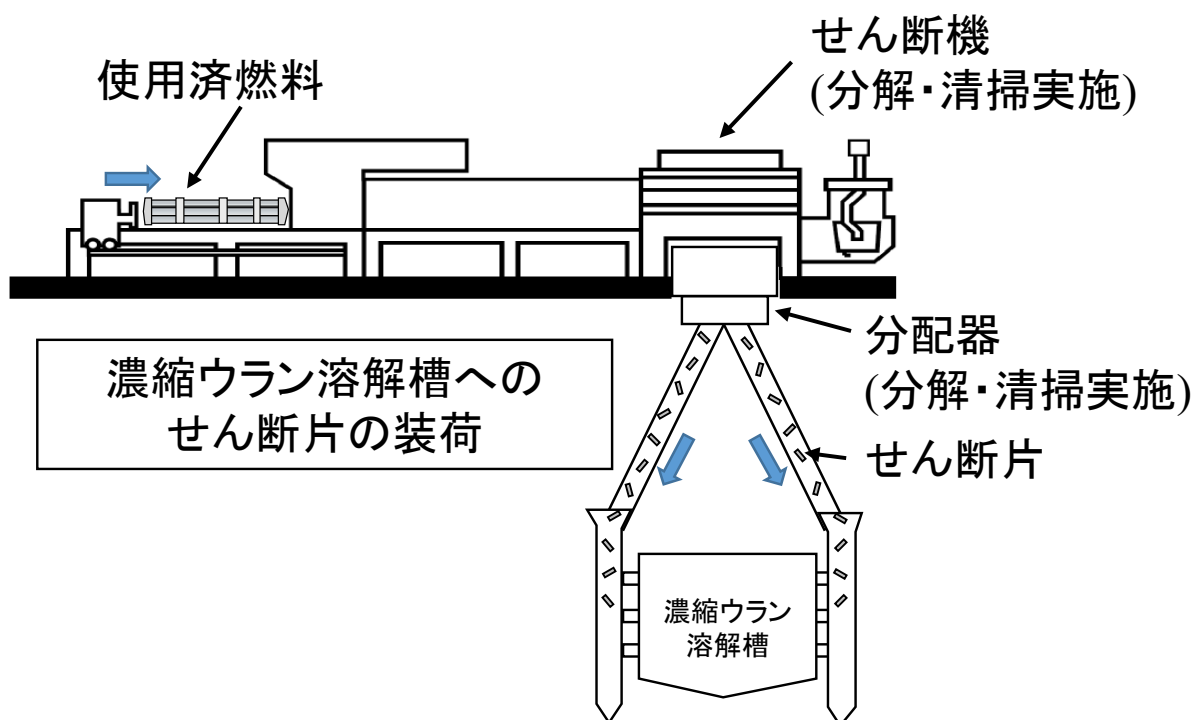


Fig. 2.1.1 せん断片の溶解槽への装荷（使用済燃料の再処理）

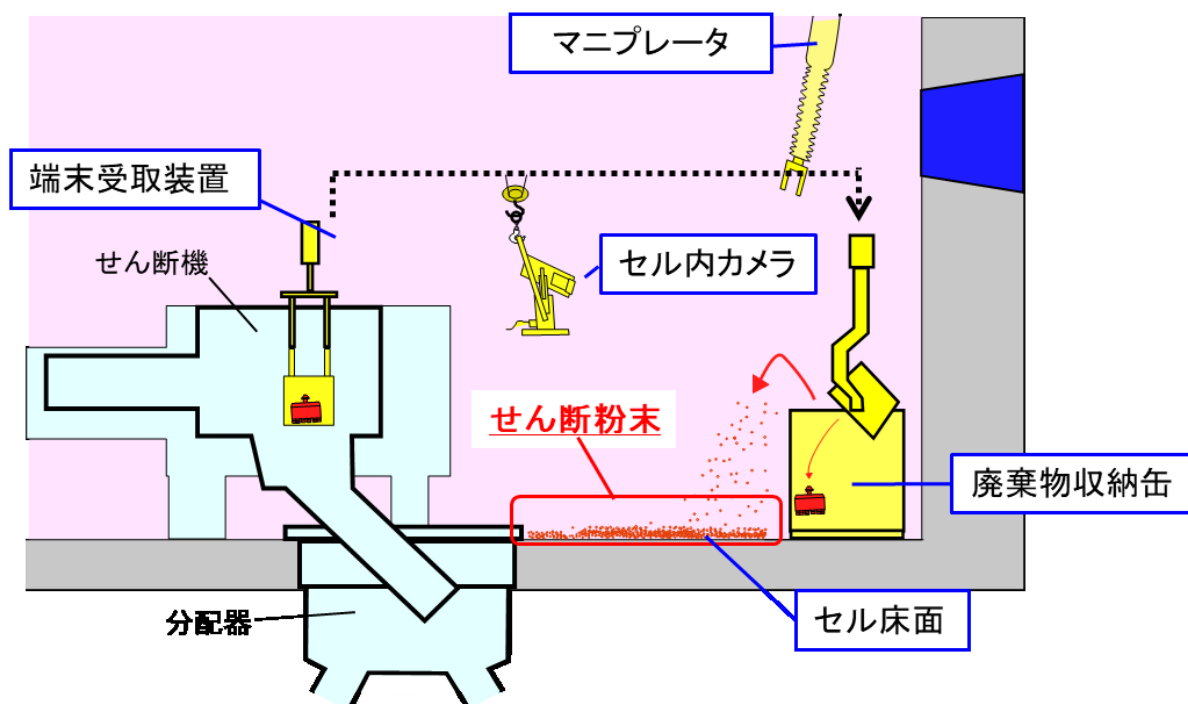


Fig. 2.1.2 セル内（セル床面）におけるせん断粉末の滞留状況

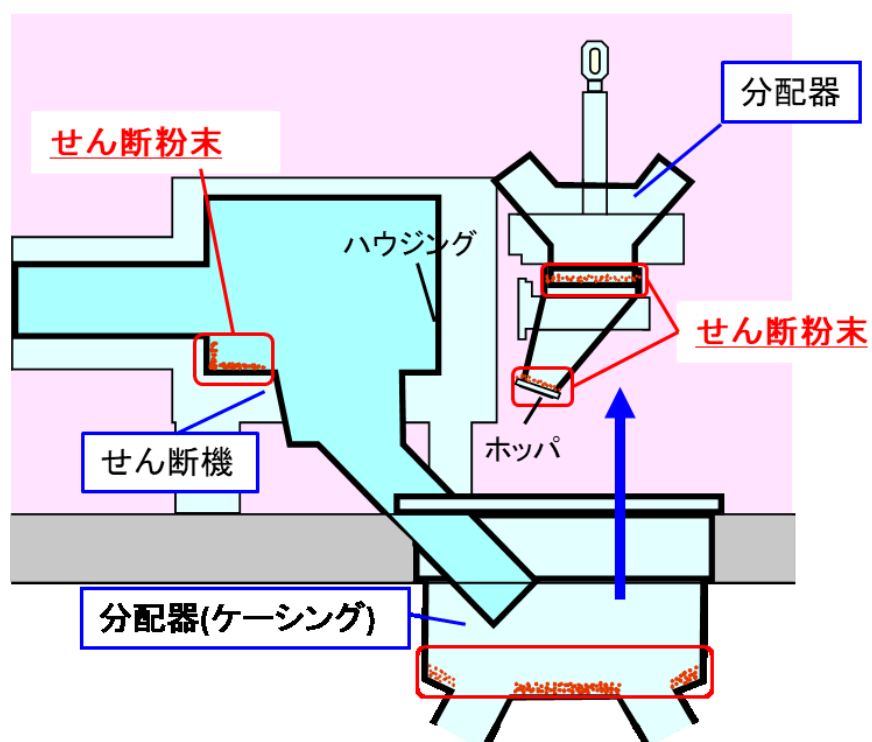


Fig. 2.1.3 セル内（せん断機、分配器）におけるせん断粉末の滞留状況

2.2 作業実績

せん断機が設置されているセル内は線量率が高く（約250 mSv/h（濃縮ウラン機械処理セル（R334）の空間線量率、せん断粉末回収前：2016年4月時点））、せん断粉末の回収には遠隔操作機器（マニプレータ、クレーン及びパワーマニプレータ）による取扱いが可能な回収装置や治具類^{※2}が必要であった。そのため、操作性、保守性、開発期間等を勘案し、市販品の中から最適なものを選択した後、セル内での取扱いを考慮した改良を行い使用することとした。選定した回収装置や治具類を実機に適用する前には、模擬せん断粉末^{※3}を用いたモックアップ訓練を十分に行い、作業性の確認、遠隔操作性を高める追加の改良を行うとともに作業員の力量の向上に努めた。

その後、改良した回収装置や治具類を用いて、セル床面、せん断機及び分配器からせん断粉末を回収した。各作業の詳細について以下に示す。

※2 回収装置では回収できない被覆管等を収集するためのスクレーパ、回収したせん断粉末を保管する収納トレイ等

※3 過去に実施したせん断粉末の粒径別重量測定⁶⁾の結果を踏まえ、粒径の異なるモルタル、砂及び鉛粒から作製

2.2.1 回収装置の選定及び改良

回収装置は、せん断粉末の物性（密度、粒径、非磁性）を考慮して吸引式の掃除機とし、せん断粉末の取出し方式（紙パック式、布フィルタ式、サイクロン式、ドラム式）の異なる掃除機（市販品）から選定することとした。その際、回収装置とせん断粉末の回収場所との距離が約 5 m と長いこと（既設設備が干渉し、回収装置の設置場所が限定される。）、せん断粉末を効率よく回収すること等を踏まえ、市場調査及び実物による試験により以下の観点について性能を比較した。

- ①フィルタの目詰まりが生じにくく、十分に回収ができること。
- ②マニプレータで容易に操作でき、装置からせん断粉末を容易に取り出せること。
- ③装置本体は、セル内で容易に解体でき、廃棄物収納缶（350 L）に収納できること。
- ④放射線等の影響による故障に備え、早期にかつ安価に保守・交換ができること。

回収装置の選定結果を Table 2.2.1.1 に示す。紙パック式、布フィルタ式及びサイクロン式は模擬せん断粉末の吸引はできるものの、すぐにフィルタの目詰まりによる吸引低下が生じ、また目詰まり復旧のためのフィルタ交換、清掃に時間を要した。一方、ドラム式はフィルタの表面積が大きいいため粉末の吸引による目詰まりが生じにくく、また、掻き落としも容易で、目詰まりを早期に復旧できた。また、ドラム式はドラムを反転することで回収物を取り出すことが可能であり、遠隔操作性に優れていた。したがって、せん断工程のクリーンアップ作業ではドラム式掃除機を選定した。

回収装置に対してはセル内で使用することを踏まえ、以下の改良を行った。

- ①遠隔操作性を高める取っ手・吊環を追加
- ②電源ケーブルの材質を難燃性に変更

③本体に転倒防止用金具を追加

④マニプレータによる操作性及び回収性を高めるため、吸引ノズルの試作品を製作
改良の都度、模擬せん断粉末等を用いた吸引性の確認試験（コールド環境）を行い、回収性や遠隔操作性等を確認した。この結果、さらに遠隔操作性を高める必要が生じたため、以下の追加の改良を行った。

⑤吸引ノズル長さの最適化

⑥モータヘッド部にマニプレータにより把持できるフィルタ復旧用吊環を追加

⑦吸引ホース脱着部にマニプレータにより把持できる金具を追加

⑧フィルタの目詰まりを把握するための作動電流監視盤の追加

改良前後の回収装置を Photo 2.2.1.1 及び Photo 2.2.1.2 に示す。

Table 2.2.1.1 回収装置の選定結果

回収方式	紙パック式	布フィルタ式	サイクロン式	ドラム式
仕様 (吸込仕事率・寸法・ 回収タンク容量)	530 W 295×260×203 mm 1.7 L	360 W 388×335×471 mm 12 L	170 W 253×361×193 mm 0.5 L	1173 W 1010×560×500 mm 15 L
吸引性の確認 (模擬せん断粉末)	△ (フィルタの閉塞に よる吸引低下)	△ (フィルタの閉塞に よる吸引低下)	△ (フィルタの閉塞に よる吸引低下)	○ (フィルタの表面積 が大きく目詰まりし にくい)
フィルタの取扱い (フィルタの目詰まり 復旧)	△ (フィルタ交換)	× (フィルタ清掃)	× (フィルタ清掃)	○ (手動掻き落とし)
回収物の取出し方法	× (紙パックを分解)	× (布フィルタ反転 後、叩き落とし)	× (回収ケースの 取出し)	○ (ドラムを反転)
総合評価	△	△	△	○

凡例 ○：最適、△：適、×：不適



回収方式: 真空ドラム式
消費電力: 1500 W 回収タンク容量: 15 L
フィルター: 1 μ m (表面積: 3 m²)

Photo 2.2.1.1 改良前の回収装置（市販のドラム式掃除機）

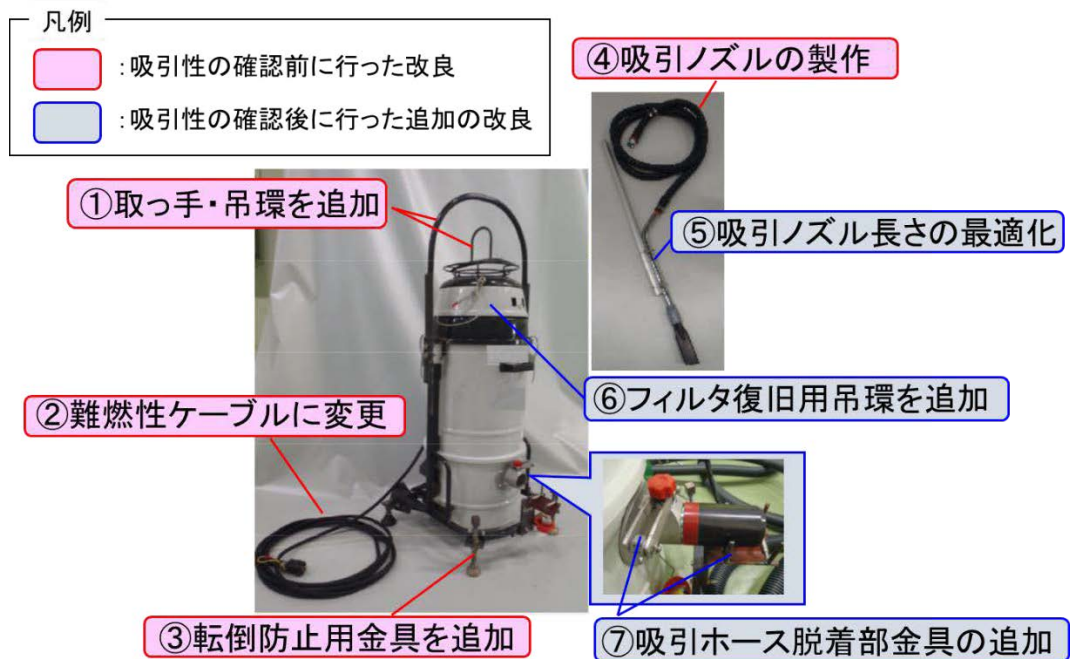


Photo 2.2.1.2 改良後の回収装置

2.2.2 治具類の選定及び改良

セル床面には回収装置で回収できない大きな被覆管等があったことから、マニプレータで操作可能なスクレーパ式や収集アーム式の治具の選定及び改良を実施した。また、回収したせん断粉末を保管するトレイについても遠隔操作性を考慮して選定及び改良を実施した。

使用する治具類の選定においては、回収物、回収場所に応じた使い分け、クレーンやパワーマニプレータによる搬送性、脱着性、マニプレータによる遠隔操作性、使用後の廃棄物の低減を考慮した。その結果、治具は市販品のスクレーパ、収集アーム等を選定し、回収したせん断粉末を収集する収納トレイは、市販のステンレス製バットを選定した。

選定した治具類に対しては、遠隔操作性を向上するため、①市販品のスクレーパ、収集アーム等には軽量なアルミ製の長手の棒を装着する改良を行った。また、収納トレイは、②クレーンにより移動できるように取っ手を追加するとともに、③被水や異物混入を防止する蓋を設けた。改良後の治具類を Photo 2.2.2.1 に示す。

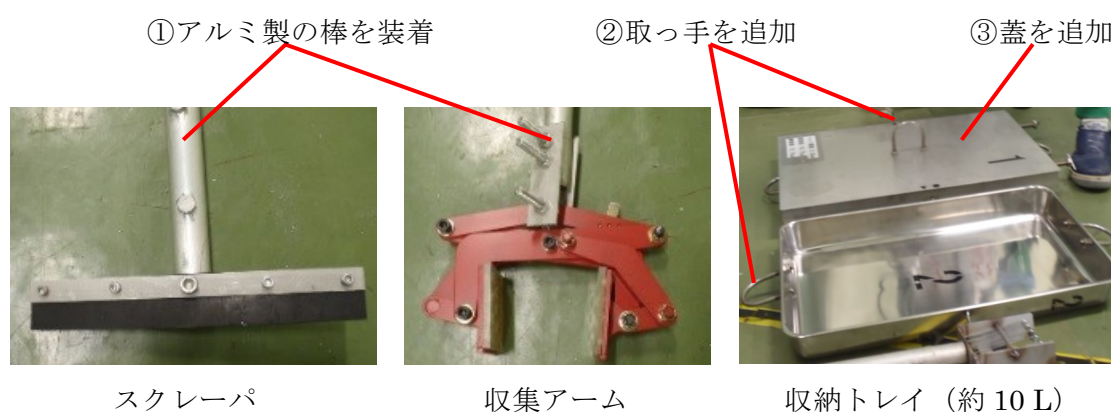
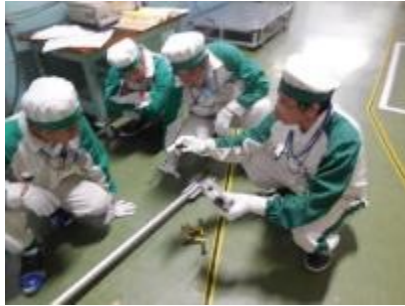


Photo 2.2.2.1 改良後の治具類

2.2.3 モックアップ訓練による操作性確認

改良した回収装置及び治具類は、セル外のクレーンを用いたモックアップ訓練によりセル内での操作性を確認するとともに操作員の操作技量向上のための訓練を行った。また、セル内搬入後は、遠隔操作機器による操作手順や監視ポイントの再確認を行い、操作員の理解度を高めたうえで、実機に適用した。回収装置等のモックアップ訓練の様子を Photo 2.2.3.1 に示す。



作業員による操作手順の確認



セル外での遠隔操作性の確認

Photo 2.2.3.1 回収装置等のモックアップ訓練の様子

2.2.4 せん断粉末の回収

せん断粉末の回収においてはセル窓から回収場所を直接視認できないため、セル内カメラからの映像をモニターで見ながら、セル床面、分配器及びせん断機の順に作業を実施した。

セル床面については、回収装置で回収できない大きな被覆管等をスクレーパや収集アームで収集した後、せん断粉末を回収装置のノズルにより回収した。作業の様子を Photo 2.2.4.1 及び Photo 2.2.4.2 に示す。

分配器については約 30 年ぶりに分解することから、作業経験者に指導及び助言を仰ぎながら作業を実施し、構成部品及び分配器のケーシング内のせん断粉末を回収装置により回収した。また、せん断機についても分解し、構成部品及び内部のせん断粉末を回収装置により回収した。回収したせん断粉末は、収納トレイ（7 個）に分け、工程洗浄によるせん断粉末の取出しまで除染保守セル（R333）で保管した。回収したせん断粉末を Photo 2.2.4.3 に示す。

せん断粉末の回収作業は、当初予定していた実作業期間（約 7 か月）で終了し、その結果、セル内の線量率が 250 mSv/h から 100 mSv/h まで低減した。また、回収装置等は高線量下で長期間使用したものの、故障等の不具合は生じなかった。



Photo 2.2.4.1 治具類によるセル床面からの被覆管等の収集



Photo 2.2.4.2 回収装置によるセル床面からのせん断粉末の回収



Photo 2.2.4.3 回収したせん断粉末

3. 工程洗浄（使用済燃料せん断粉末の取出し）

3.1 作業概要

3.1.1 作業方針

工程洗浄は、以下の工程洗浄の基本方針⁵⁾に基づき、安全かつ早期に完了できる方法で実施する。

- 再処理運転（U 及び Pu の分離）は行わない。
- 使用する設備は、必要最小限とする。
- 既存の設備・機器を使用し、設備の新規設置や改造は行わない。
- 送液経路は、安全性（臨界安全や漏えい事象に対する安全性等）を確保する。

3.1.2 取出し対象核燃料物質

今後の廃止措置（系統除染等）を進めるため、再処理設備本体等の一部の機器に残存する核燃料物質を取り出す工程洗浄を約 2 年かけて実施することとした。

工程洗浄における対象核燃料物質の取出し方法を以下に示す。また、工程洗浄の対象工程を Fig. 3.1.2.1 に示す。

① せん断粉末

セル内機器の分解清掃等により回収したせん断粉末（前項参照）は、粉末の状態での核燃料物質量の計量が困難であることから、溶解槽での溶解、核燃料物質量の計量後、HAW に送液し、既存の高放射性廃液と混ぜて将来的にガラス固化処理を行う。

② 低濃度の Pu 溶液

通常の脱硝プロセスにて、MOX 粉末化（固化安定化処理）して回収後（2014 年～2016 年実施）³⁾、貯槽のヒールとして残った Pu 溶液を希釈した低濃度の Pu 溶液は、今後せん断粉末の溶解液と同様、HAW に送液し、高放射性廃液と混ぜて最終的にガラス固化し廃棄予定。

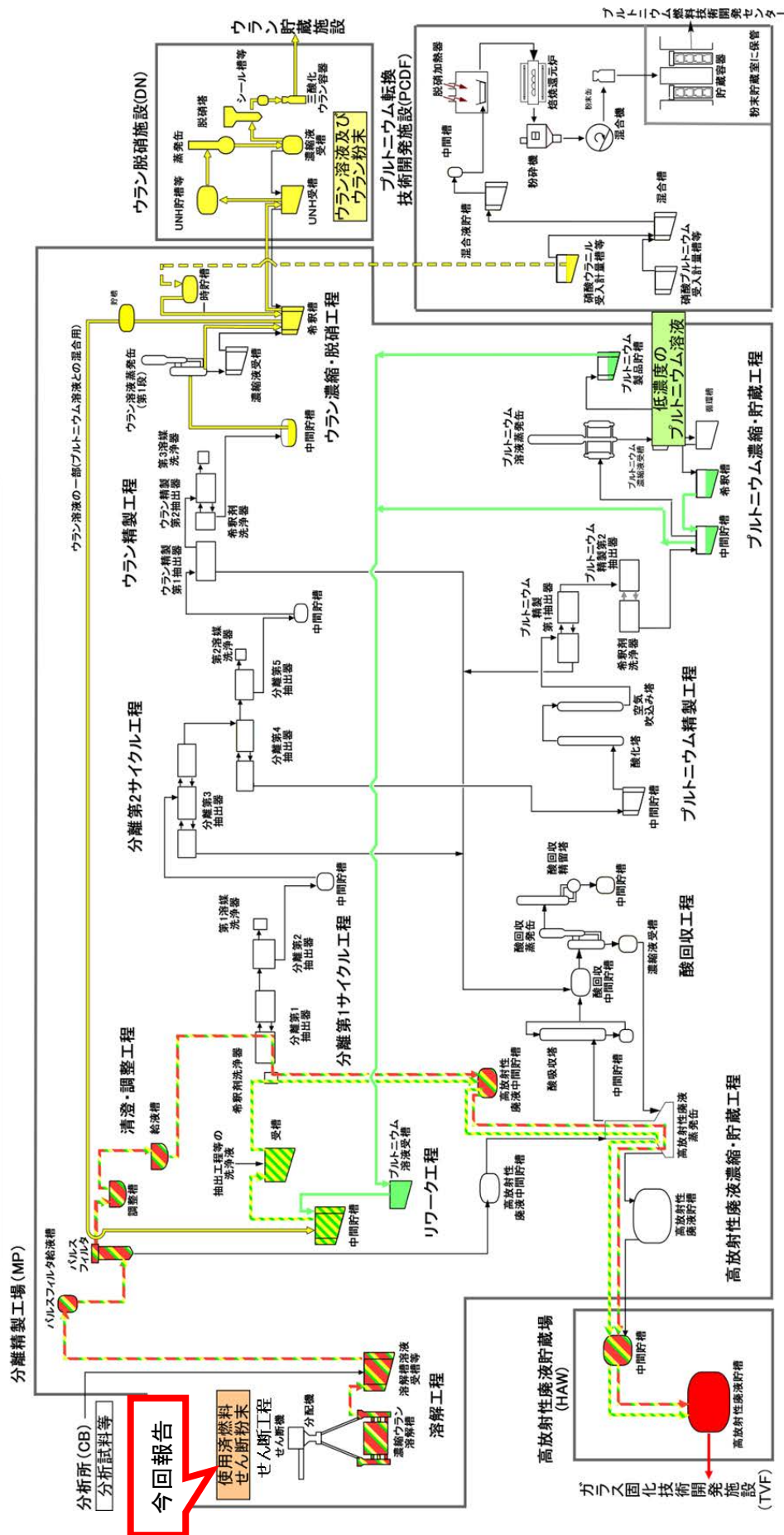
③ U 溶液

保有量が多い U 溶液は、高放射性廃液として廃棄した場合に多量のガラス固化体が発生することから、通常の脱硝プロセスにて三酸化ウラン（ UO_3 ）粉末化し、保管予定。

④ その他の核燃料物質（工程内の洗浄液等）

その他の核燃料物質は、MP の溶解、清澄・調整、抽出、酸回収、リワーク等の工程の洗浄液、分析所（以下「CB」という。）の分析試料等であり、せん断粉末又は低濃度の Pu 溶液の取出しに合わせ、HAW に送液して廃棄する。

工程洗浄の第一段階として、上記①せん断粉末の取出し及び④その他の核燃料物質の一部の取出しを 2022 年 6 月 8 日から同年 9 月 12 日にかけて実施した。



- 11 -

3.2 作業方法

せん断粉末の取出し方法は具体的に、せん断粉末を濃縮ウラン溶解槽（242R12）で少量ずつ（1 バッチ当たり 30 kg 以下）分けて硝酸で溶解し、その溶解液は分離第一抽出器（252R11）、希釈剤洗浄器（252R10）、高放射性廃液蒸発缶（271E20）等を経由して HAW の高放射性廃液貯槽（272V31、272V33、272V35）へ送液した。

せん断粉末を全て溶解した後は、硝酸及び水を用いて使用した系統の押出し洗浄を実施した。押出し洗浄においては、調整槽（251V10）、高放射性廃液中間貯槽（252V14）、濃縮液受槽（273V50）、中間貯槽（108V10、108V11）を洗浄効果の確認ポイントと定め、サンプリング及び分析により洗浄効果を確認した。これらの確認ポイントにおける押出し洗浄液の U 濃度及び Pu 濃度が廃止措置計画に定める工程洗浄終了の判断基準（U 濃度 1 g/L 及び Pu 濃度 10 mg/L）を下回ることを確認した上で押出し洗浄の終了を判断した。なお、工程洗浄終了の判断基準を満たさない場合は、洗浄効果の傾向、廃液の発生量等を踏まえて、再度、工程洗浄を行うか、系統除染により除染するかを判断することとしていた。

せん断粉末の取出しに係る作業フローを Fig. 3.2.1、実施スケジュールを Table 3.2.1 に示す。また、各作業の実績について以下に示す。

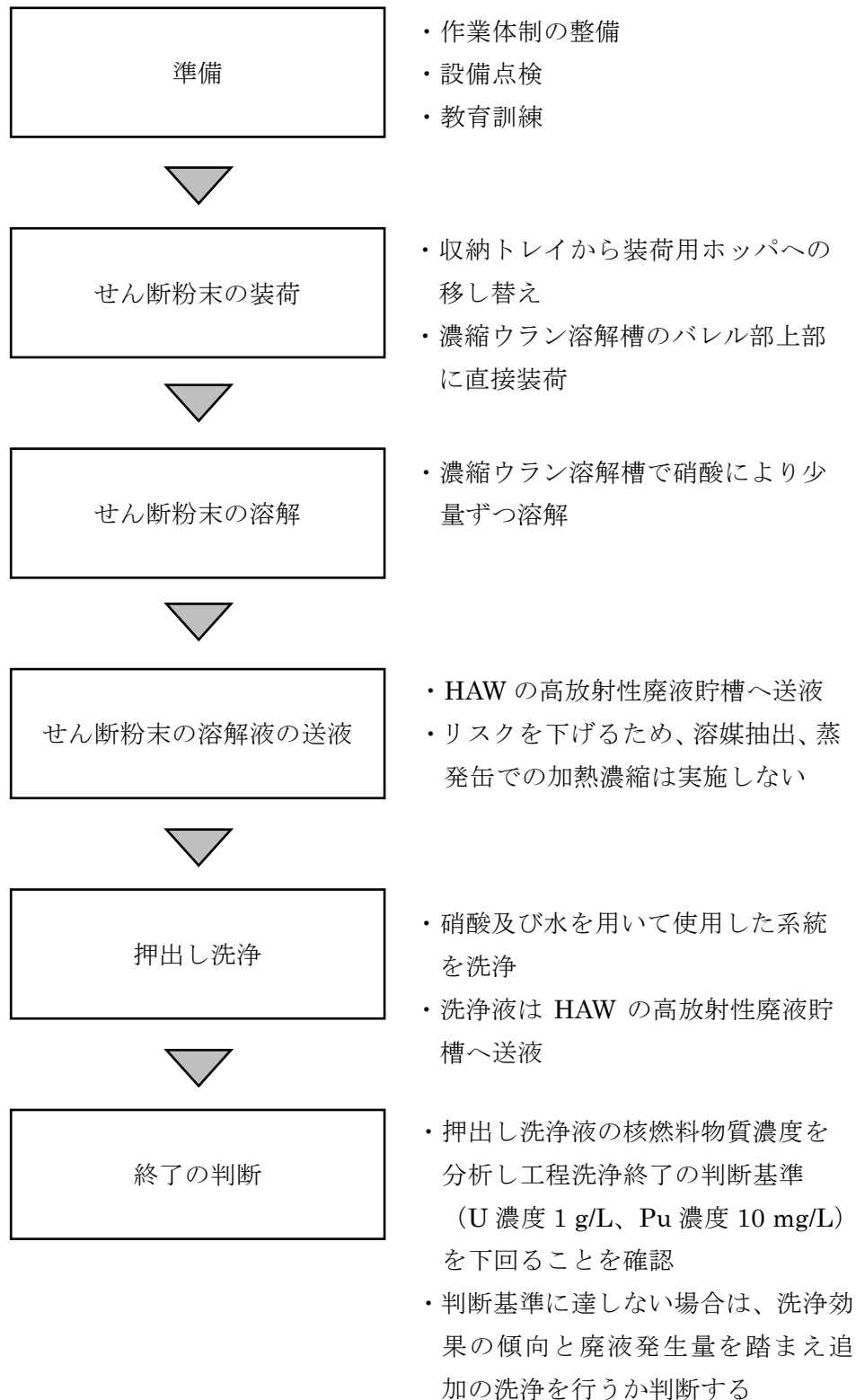
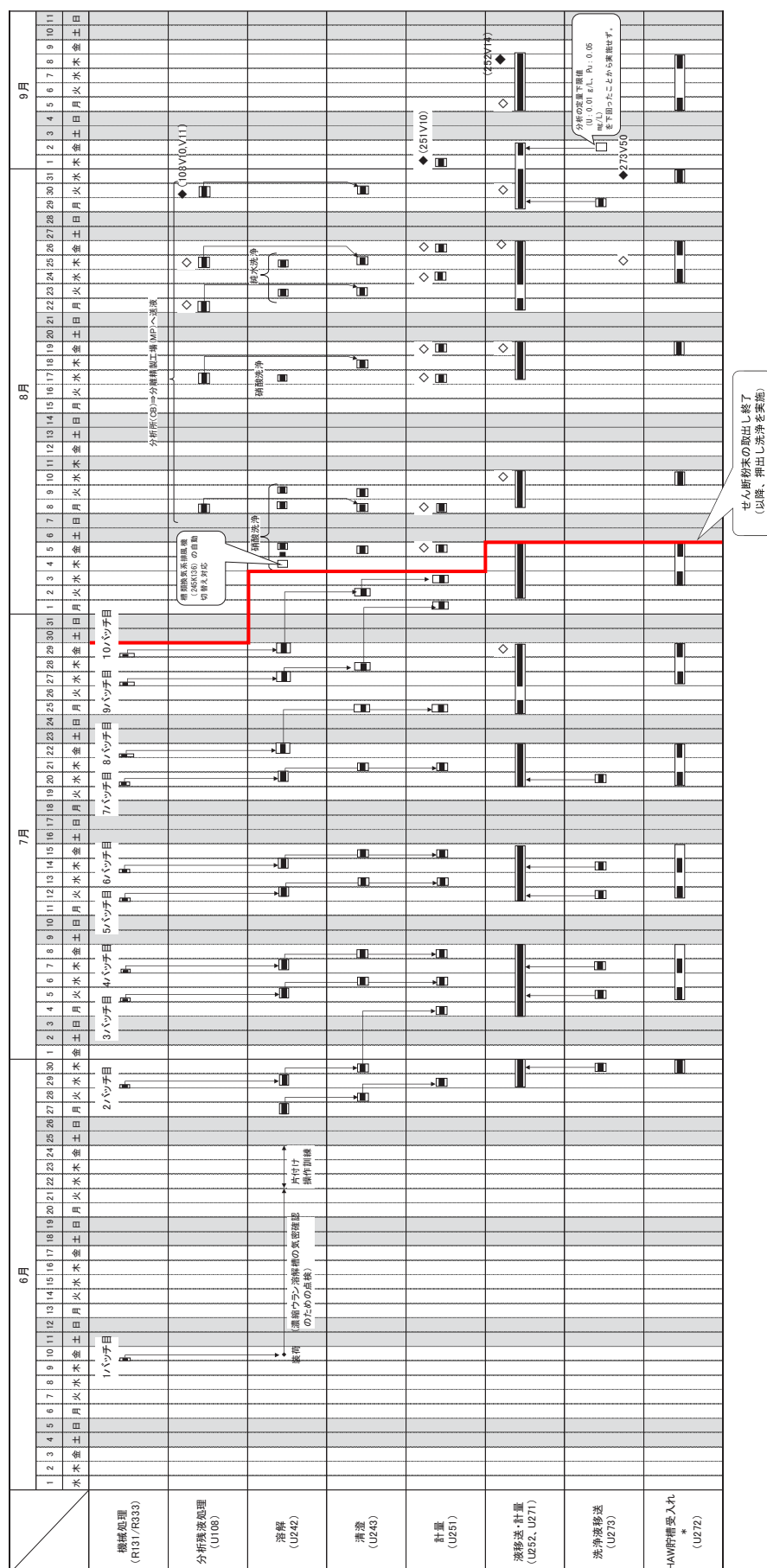


Fig. 3.2.1 せん断粉末の取出しに係る作業フロー

Table 3.2.1 せん断粉末の取出し実施スケジュール



*：中間貯槽（272V37）は、ガラス固化技術開発施設（TVF）への高放射性廃液移送用、中間貯槽（272V38）は工程洗浄で発生する溶解液等の受入れ用として使用する。

3.3 準備

せん断粉末の取出しを開始するに当たっては、作業体制を整備するとともに、設備点検及び作業員の教育訓練を実施した。

3.3.1 作業体制の整備

せん断粉末の取出しにおける作業体制、必要人数及び各課の所掌業務を Fig. 3.3.1.1 に示す。

本作業では廃止措置計画に定めた必要な要員を確保した。また、せん断粉末の装荷、溶解、押出し洗浄、高放射性廃液貯槽までの送液操作は、前回の操業運転（2007 年）で操作して以来、約 15 年ぶりとなることから、前処理施設課、化学処理施設課の作業体制には、操業運転を経験している再雇用職員等の経験者・熟練者を含めた。それぞれの作業について、確保した要員を以下に示す。

(1) せん断粉末の装荷、溶解及び押出し洗浄（前処理施設課）

・作業体制：13 名（監督級：7 名、中級：2 名、初級：4 名）うち熟練者*：7 名

(2) 高放射性廃液貯槽までの移送（化学処理施設課）

・作業体制：12 名（監督級：4 名、上級：2 名、中級：6 名）＋熟練者*：8 名

(3) 核燃料物質等の分析（分析課）

・作業体制：13 名（監督級：2 名、上級：2 名、中級：3 名、初級：6 名）

*再雇用職員等の運転経験者・熟練者（工程の状況に応じ適宜配置し助言を得る）

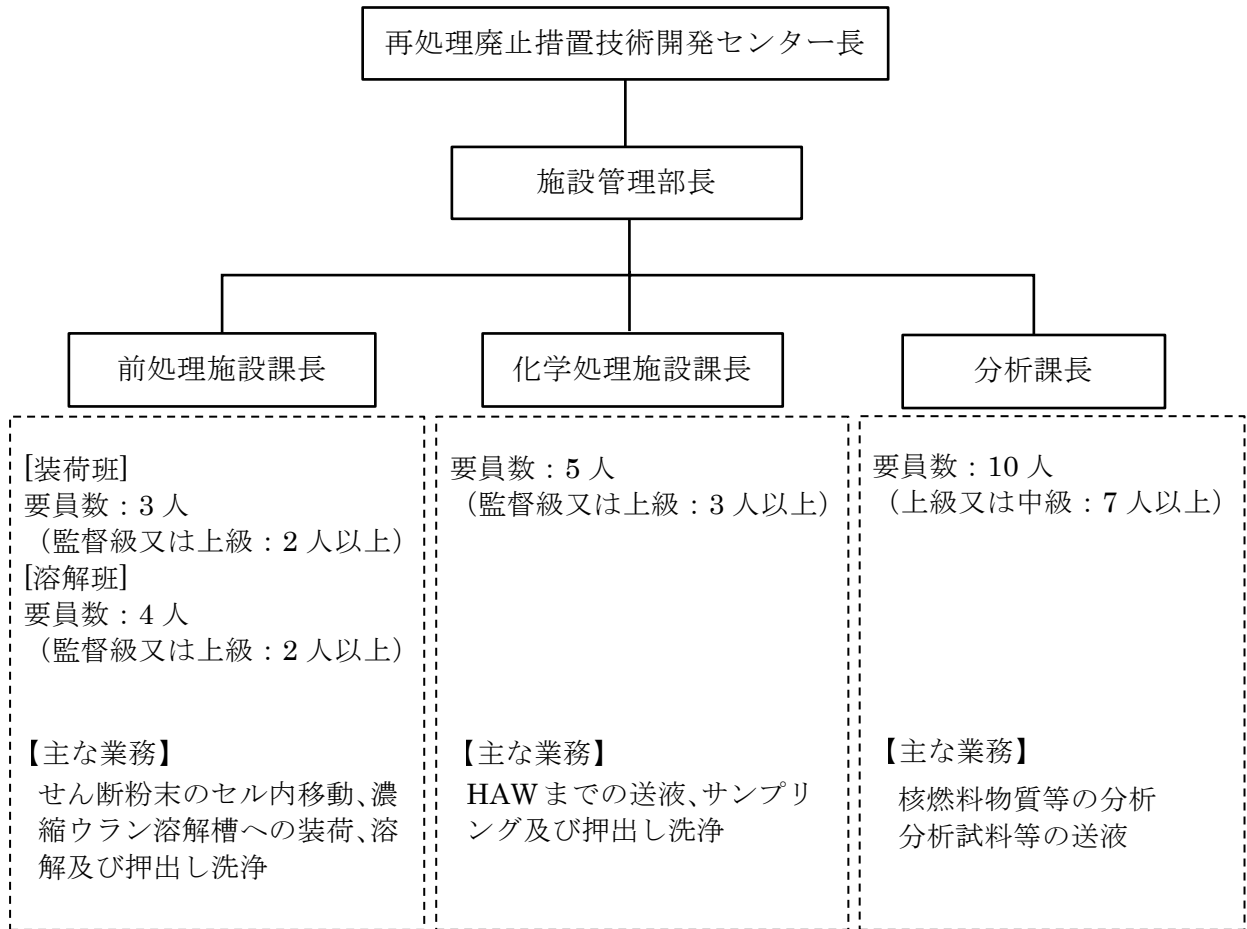


Fig. 3.3.1.1 セン断粉末の取出しに係る作業体制、必要人数及び各課所掌業務

3.3.2 設備点検

せん断粉末の取出しの準備においては、廃止措置計画に基づき、工程が長期間停止していたことを考慮した設備点検を行った。加熱機器については、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した。一方、加熱操作を伴わない静的機器については、シール材の劣化、バルブの固着、送液装置等の詰まりなどに対する点検を実施した。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、作動確認を実施した。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した。

その結果、せん断粉末の取出しに係る対象工程（せん断工程、溶解工程、清澄工程、調整工程、分離第1サイクル工程、高放射性廃液濃縮・貯蔵工程）の設備機器類が健全であることを確認した。主な設備の点検内容を以下に示す。

1) 濃縮ウラン溶解槽（242R12）

操業運転時と同様に濃縮ウラン溶解槽（242R12）の加熱操作を行うことから、以下の点検・整備を行い健全であることを確認した。

① 溶解槽の加熱、冷却系統の確認

長期停止に伴い、蒸気、温水、冷却水、圧空等のユーティリティを溶解槽に供給する配管の詰まり・漏れ、弁類の不具合（可動部の固着等）が考えられたことから、系統ごとに通水・通気、弁操作を行い、継手や弁類からの漏れ、閉塞、不具合が無いことを確認した。

② 溶解槽プラグガasketの交換

2007年の再処理運転にて使用した溶解槽プラグガasketは経年劣化が考えられたことから予備品と交換した。ガasket交換後、溶解槽の気密確認を行い、溶解槽内の負圧が正常に維持できることを確認した。

③ セル内点検

濃縮ウラン溶解槽（242R12）を設置しているセル（R003）の点検孔からカメラを挿入し濃縮ウラン溶解槽（242R12）の外観観察を行い、前回点検時（2016年）と比較し外観に異常が無く健全であることを確認した。

④ 発泡検査

濃縮ウラン溶解槽（242R12）内に純水を張り、加熱ジャケットに圧空を供給した結果、濃縮ウラン溶解槽（242R12）内部に気泡が発生せず漏れがないことを確認した。

⑤ 総合作動確認

濃縮ウラン溶解槽（242R12）内に純水を張り、温水及び蒸気による昇温、沸点到達、冷却水による冷却、液抜き（スチームジェット作動確認）等、一連の操作を行い、操業運転時のデータを参考に正常に作動することを確認した。

⑥ 計測制御系の点検

圧力上限緊急操作（PP+、PP++）や漏えい検知等の計装設備については、施設定期自主検査、定期事業者検査により健全であることを確認している。一方、施設定期自

主検査の対象外の計器(液位計、密度計、流量計等)のうち、濃縮ウラン溶解槽(242R12)の操作に必要な計器は、計器校正により健全性を確認した。

2) パルスフィルタ (243F16)

長期停止に伴い、エレメントの目詰まり、シール材(Oリング)の劣化、真空配管、真空フィルタ及び圧空配管(ストレーナ)の詰まり・漏れ、弁類(VCV、三方弁、手動弁等)の不具合(可動部の固着等)が考えられたことから、パルスフィルタの点検は、パルスフィルタシーケンスの起動前にエレメント締め付けトルクの確認、真空系統及び圧空系統の状態確認、セラミックバルブ等の弁類の動作確認、漏れ確認を行った。点検の結果、三方弁のリミットスイッチを除き、他の機器は正常に作動することを確認した。三方弁リミットスイッチについては予備品と交換し正常に動作することを確認した。

その後、溶解槽溶液受槽(243V10)内の洗浄残液を約1 m³用いてパルスフィルタシーケンスを起動し、ろ過中の真空圧、圧空供給圧、ろ過速度、漏れ検知ポット(243V20)の液位変化、スチームジェットの作動状態等により、正常にろ過できることを確認した。

3) 送液装置、弁類

送液装置の長期停止により、配管の閉塞、弁類の漏れなどの不具合が想定されたことから、各送液装置の作動確認を行い、健全性を確認した。

作動確認中における事象として、高放射性廃液中間貯槽(252V14)から高放射性廃液蒸発缶(271E20)への硝酸による通水確認において、十分な送液速度が得られなかった。原因は、移送配管の一部でスラッジ(固体粒子類)等が堆積していたものと推定されたため、運転要領書に従いアルカリ浸漬を実施した結果、所定の送液速度が得られることを確認した。

4) 液位計、密度計、温度計等の計装機器

長期停止や高経年化により想定される計装機器の不具合として、計装配管の閉塞、計測部品(リレー、伝送器、圧力スイッチ等)の不具合が考えられたことから、保安規定に基づく計器校正やインターロック作動試験等の他、せん断粉末の取出しに用いる計装計器について、使用状況に応じ計器校正、外観点検、作動状態の確認を行った。濃縮ウラン溶解槽(242R12)のように操業運転時と同様の操作を行う機器は、加熱、冷却操作に用いる計器(液位計、密度計、温度計等)について校正を実施し、また、溶液の受け払いのみを行う設備は、液移送操作に必要な液位計等について校正を実施した。以上の点検等により、せん断粉末の取出しで使用する機器の計装計器が正常に動作することを確認した。

5) 分析設備

せん断粉末の取出しにおいて使用した分析設備については、汚染拡大防止及び作業員の被ばく低減の観点から以下に示す点検・保守を行い、健全な状態を維持した。また、

本分析作業の実施に当たっては、廃止措置計画に定めた想定される不具合事象に速やかに対応するため、分析作業に影響を及ぼす設備、機器の復旧に係る作業計画（特殊放射線作業計画書）を予め策定した。

① 分析セルライン

分析セルラインについては、日常点検として外観目視点検、負圧点検及び表面線量率の測定を実施した。各分析セルラインに設置しているマニプレータ及びマニプレータ用ブーツについては、作業開始前にマニプレータが正常に作動すること、ブーツに破損等がないことを確認した。また、月 1 回の頻度で分析セルライン本体、トング、排気フィルタ及び給気、排気の各フレキシブルチューブの外観目視点検、汚染検査、表面線量率の測定等を実施した。これらの点検により分析セルラインに異常がないことを確認した。

② グローブボックス

グローブボックスについては、作業の前後に外観目視点検、負圧点検等を実施した。グローブ及びビニールバッグについては、作業開始前にアルファ線用サーベイメータによる直接サーベイにより汚染のないことを確認するとともに、外観目視点検によりピンホールの有無、劣化によるひび割れの有無を確認した。作業終了後には、グローブボックス前面（作業面）及びグローブ表面の表面線量率の測定、外観目視点検等を実施した。また、月 1 回の頻度でグローブボックスの給気フィルタ、排気フィルタ、分析試料の気送管設備及びグローブボックス本体の外観目視点検、汚染検査、表面線量率の測定を実施した。これらの点検によりグローブボックスに異常がないことを確認した。また、せん断粉末の取出しの実施期間中には、バッグイン、バッグアウトに使用するビニールバッグを 10 本交換した。

③ ヒュームフード

ヒュームフードについては、日常点検として、ヒュームフードの前面の汚染検査、外観目視点検を行うとともに換気の状態を確認する風向確認を実施した。また、月 1 回の頻度でヒュームフード開口部における風速測定及び表面線量率の測定を実施した。これらの点検によりヒュームフードに異常がないことを確認した。

④ 気送管設備

気送管設備については、気送管の給気フィルタ、排気フィルタ、排風機の外観目視点検、排気フィルタの汚染検査及び表面線量率の測定を月 1 回の頻度で実施した。これらの点検により気送管設備に異常がないことを確認した。

3.3.3 教育訓練

せん断粉末の取出しに必要な力量（①設備の構造、作動原理及び操作手順の理解、②設備状態の把握（異常の早期発見）、③通常と異なる事象に対する原因究明及び問題解決力）を要員に付与するため、再処理運転の経験の有無に依らず、要員の階層や役割に応じた座学・OJTによる教育訓練を実施した。

また、せん断粉末の装荷においては、今回初めて使用する治具類（せん断粉末装荷用のホッパ、収納容器、スコップ等）を遠隔操作で取り扱う必要があることから、治具類の性

能確認及び要員の技術向上のためのモックアップ訓練を実施した。実施した教育訓練について以下に示す。

1) 治具類の性能確認及び要員の技術向上のためのモックアップ訓練

せん断粉末の装荷に係る作業で使用する治具類（せん断粉末装荷用のホッパ、収納容器、スコップ等）の性能を確認するためモックアップ訓練を実施した。

せん断粉末の装荷に用いるホッパは閉止栓を取り付けた漏斗状の治具であり、閉止栓を引抜くことでホッパ内のせん断粉末を排出する。収納容器はせん断粉末のセル内移動時にホッパを収納する容器であり、スコップはせん断粉末をトレイからホッパへ移し替える際に使用する。

まず、非管理区域（MP のトラックエアロック（W1120））において、ホッパの耐久性及び治具類の適用性を確認した。ホッパについては、模擬せん断粉末（砂、セメント粉及び鉛毛）を 5 kg ずつ合計 60 kg ホッパに充填し、十分な耐久性を有していることを確認した。また、模擬せん断粉末を用いてモックアップ訓練を行い、ホッパからの粉末の排出性能等を確認し治具類が適用できることを確認し、さらに操作性を向上するためにスコップ等への吊環や把持等の追加、ホッパと収納容器の吊り上げ用チェーンの識別、緩止めの追加等を実施した。改良した治具類を Photo 3.3.3.1 に示す。

その後、治具類を管理区域（MP の濃縮ウラン機械処理セル操作区域（G346））へ搬入し、予備のマニプレータを用いてホッパへの閉止栓取付け及び引抜き、収納容器の玉掛け、スコップによる模擬せん断粉末の移し替え等の作業性を確認した。その際、運転操作経験者が少なかったことから、前処理工程での遠隔操作経験者（現在他部署に所属）による作業の確認を受け、操作上の考慮すべき点等を抽出し、要員に周知した。セル外におけるせん断粉末の装荷に係るモックアップ訓練の様子を Photo 3.3.3.2～Photo 3.3.3.5 に示す。

更に、セル内に治具類を搬入した後も、実機を用いた模擬操作訓練を重ねることで、せん断粉末の装荷作業に必要な力量を要員に付与するとともに習熟度の向上を図った。

2) 運転要領書の読み合わせ

せん断粉末の取出しにおいては通常の再処理運転とは異なるため、運転要領書（OSCL）の読み合わせを机上で実施し、ホールドポイント等を要員に周知した。

3) 総合訓練

せん断粉末の取出し準備の一環として、せん断粉末の装荷から HAW への送液までの一連の操作の流れを確認する総合訓練を実施した。総合訓練においては、再雇用職員等の再処理運転経験者と若手を組み合わせた体制を整備し、技術の伝承に努めた。

4) 異常時対応訓練

廃止措置計画で定めた想定される不具合事象に速やかに対応できるよう、異常時対応訓練を実施した。訓練を実施するに当たっては、工程ごとに過去のトラブル事例についての

机上教育により要員の工程設備の理解を深めた。

5) 習熟度向上訓練

せん断粉末の取出し準備として予定した教育訓練を 2022 年 4 月 8 日に終了したことから、せん断粉末の取出し開始（2022 年 6 月 8 日）までの期間を利用して、要員の習熟度向上訓練を実施した。習熟度向上訓練では、せん断粉末の装荷に係る操作訓練、溶解槽の加熱操作訓練、せん断粉末の溶解液の送液に係る操作訓練等を繰り返し実施した。



Photo 3.3.3.1 モックアップ訓練を踏まえて改良した治具類



Photo 3.3.3.2 せん断粉末装荷用のホッパ及び収納容器の適用性確認（MP G346）



Photo 3.3.3.3 模擬せん断粉末（砂、セメント粉及び鉛毛）による
トレイからホッパへの移し替え訓練（MP G346）



Photo 3.3.3.4 カメラ映像を用いた作業訓練（MP G346）



Photo 3.3.3.5 マニプレータによるホッパ及び収納容器の取扱訓練（MP G346）

3.4 作業実績

3.4.1 セン断粉末の濃縮ウラン溶解槽への装荷

通常の再処理運転では使用済燃料をセン断機でセン断した後、分配器及びシューターを介して濃縮ウラン溶解槽（242R12）に装荷する。工程洗浄においては、セン断工程のクリーンアップ作業によりセン断機及び分配器が分解、清掃済であることから、濃縮ウラン溶解槽（242R12）のバレル部上部からセン断粉末を直接装荷した。セン断粉末の装荷の手順を Fig. 3.4.1.1 に示す。

セン断粉末は収納トレイに入れ、除染保守セル（R333）で保管していたため、マニプレータでスコップを操作し、溶解 1 バッチごとに 2 つのホッパ（溶解槽 A、B サイド用）に移し替えた後、濃縮ウラン溶解槽装荷セル（R131）まで運搬した。ホッパはセル内で重量を秤量した後、濃縮ウラン溶解槽（242R12）のバレル部上部にそれぞれセットし、閉止栓をマニプレータで引き抜いてセン断粉末を装荷した。

マニプレータによる作業の様子を Photo 3.4.1.1 及び Photo 3.4.1.2 に示す。また、セン断粉末取り出し後の状態を Photo 3.4.1.3 に示す。

セン断粉末の移し替えにおいては、運転要領書に 1 ホッパ当たりの装荷量を定めて作業を行った。その結果、廃止措置計画及び保安規定に定める溶解 1 バッチ当たりの装荷量 30 kg 以下を遵守しつつ、全てのセン断粉末を濃縮ウラン溶解槽（242R12）に装荷できた。

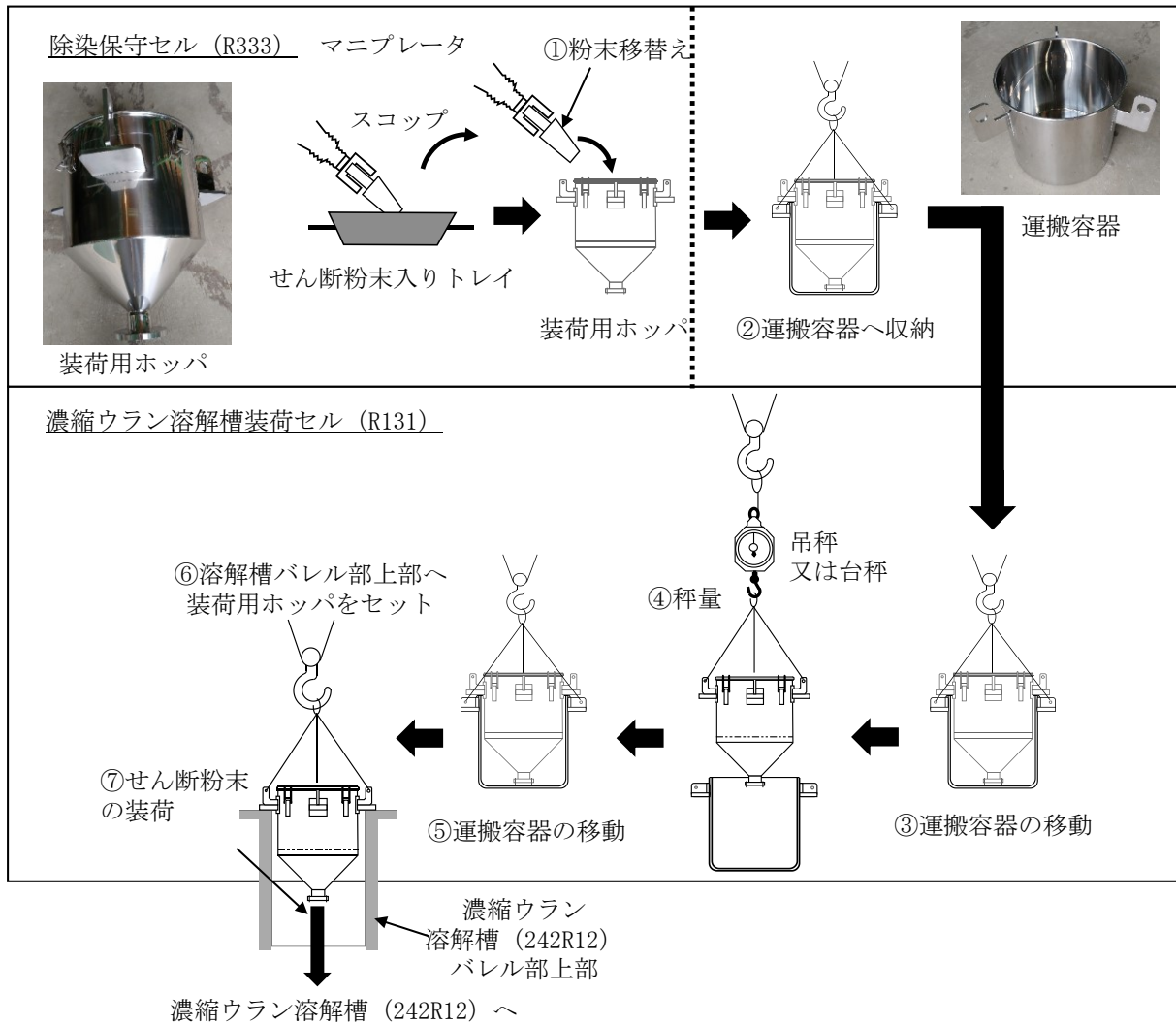


Fig. 3.4.1.1 せん断粉末の装荷の手順

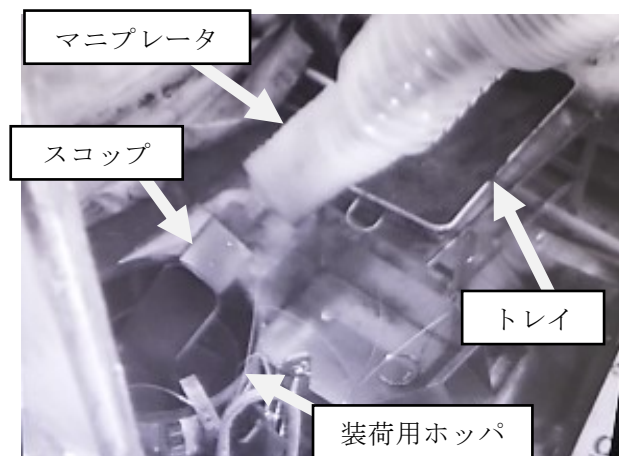


Photo 3.4.1.1 マニプレータによるセル内作業（装荷用ホッパへのせん断粉末移し替え）

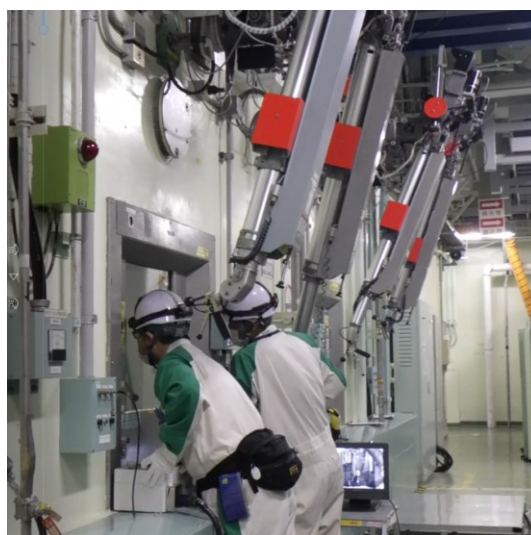


Photo 3.4.1.2 せん断粉末の取出しに係る遠隔操作
（マニプレータによるせん断粉末の移動操作）

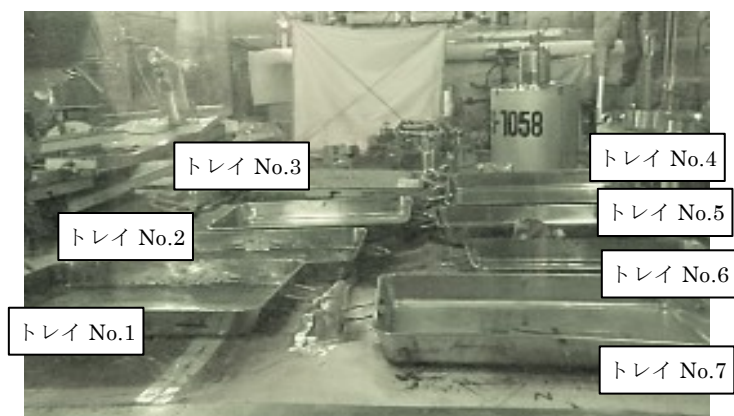


Photo 3.4.1.3 せん断粉末取出し後の専用トレイの状況

3.4.2 使用済燃料せん断粉末の溶解

せん断粉末の取出しでは、使用済燃料と同様に、濃縮ウラン溶解槽（242R12）で沸騰させた硝酸を用いてせん断粉末を溶解した。しかし、セル内から回収したせん断粉末は、通常の再処理運転時と比べ粉末の割合が高く（表面積が大きく）、硝酸と急激に反応し溶解槽の内圧が上昇する可能性があった。そのため、1 バッチ当たりの溶解量を 30 kg 以下（昭和 59 年にせん断粉末を溶解した際の溶解量から設定）とすることで、溶解槽の内圧上昇のリスクを低減するとともに、せん断粉末の溶解に伴い大気中に放出される放射性物質の影響をできるだけ軽減した。

せん断粉末の溶解は、既存の運転要領書を用い温水及び蒸気により少しずつ加熱しながら溶解するモード（内圧上昇防止モード）⁷⁾で実施した。内圧上昇防止モードでは水を張った濃縮ウラン溶解槽（242R12）にせん断粉末を装荷し、酸濃度が 3 mol/L になるように初期硝酸を供給した後、温水により約 60℃まで加温する。その後、蒸気による加熱を開始し、溶液が沸騰した後は、溶液の蒸発量に応じて硝酸を追加することで液位を一定に保ちつつ加熱を継続することで、せん断粉末を全て溶解する。このとき、大気中に放出される Kr-85 ガスの放出量を主排気筒の放射線モニタ（Kr モニタ）で監視しながら溶解の進捗を確認した。

溶解液の加熱は、使用済燃料の溶解時と同様に、運転要領書に定める以下の基準を満たした後、終了することとした。

- ① 計画量の硝酸供給
- ② 溶解率の飽和
- ③ 100℃以上で 3 時間の加熱
- ④ Kr モニタの指示値が BG 値まで低下

硝酸の供給量は、せん断粉末を溶解した後の酸濃度が 3 mol/L になるように定め、せん断粉末中の U との反応により減少する硝酸根の量及び NO_x として大気中に放出される硝酸根の量を考慮した。せん断粉末の溶解率は、溶解液の密度から算出した U の溶解量を U の装荷量で除した値とした。

その結果、溶解槽の内圧上昇等が生じることなくせん断粉末を全て溶解し、運転要領書に定める溶解終了の判断基準を全て満たした。せん断粉末の溶解時における液温度等のパラメータ変化の一例を Fig. 3.4.2.1 に示す。

せん断粉末の溶解により得られた知見について、以下に示す。

1) 溶解率（供給硝酸、装荷量等と密度計測値による溶解進捗の推定）

工程洗浄においては、せん断粉末（U^{※4}）の装荷量が通常の再処理運転時の装荷量の 10%程度と少なく、再処理運転時の溶解率の評価式（液量及びウラン濃度、装荷量から算出）を用いると、誤差が大きくなるため、工程洗浄時の装荷量に合わせた評価式の補正を行い、溶解率を適正化し、溶解液の加熱の終了を判断した。

※4 せん断粉末の組成が不明であるため、全て U として溶解率を評価した。

2) Kr-85 の放出ピーク

せん断粉末の溶解時には使用済燃料の溶解時と同様に Kr-85 ガスが放出され、以下の4つのポイントで放出ピークを観測した。

- (1) せん断粉末の装荷後
- (2) 初期硝酸の供給開始後
- (3) 温水による加温開始後
- (4) 溶液の沸騰時

このうち、最大のピークは(2) 初期硝酸の供給を開始した後であり、溶液の沸騰時に最大のピークが生じる使用済燃料の溶解時とは異なる傾向となった。これは、せん断粉末の表面積が大きく反応性が高いため、溶液の加温を行う前にその大半が初期硝酸と反応したためと考えられる。

3) Kr-85 の放出量

せん断粉末の溶解に伴う Kr-85 の放出量は、保安規定に定める 1 日当たりの最大放出量 (3.0×10^5 GBq) より十分低い結果となった。Kr モニタにおける測定値と廃止措置計画で示した評価値^{※5}を比較した結果を Table 3.4.2.1 に示す。Kr モニタで測定した Kr-85 の放射エネルギーは 1 バッチ当たり約 90~270 GBq (合計は 2,049 GBq) であり、評価値 (約 $3 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$ GBq、合計 4.5×10^4 GBq) の約 1/20 となった。これは、せん断粉末中の Kr-85 の放射エネルギーを保守的に評価したこと及びせん断粉末中の Kr-85 が回収作業やセル内保管により少量ずつ放出されたことが原因と考えられる。

また、全てのバッチで装荷量は同等であるものの、1 バッチ目については、Kr-85 の放出量が他のバッチの半分以下となった。これは、1 バッチ目 (FOA-001) のせん断粉末装荷後に濃縮ウラン溶解槽 (242R12) の気密確認に時間を要し、初期硝酸供給まで約 2 週間が経過しているためと考えられる。この間に、少量で検出下限値未満の Kr-85 の放出が継続したことで、他のバッチの半分程度となった可能性がある。

※5 Kr-85 の放出量の評価値は、せん断粉末の放射エネルギーを ORIGEN2.2 (使用済燃料の核種生成量、崩壊熱量、中性子及びガンマ線の線源強度を評価する計算コード) により計算し、過去 10 年 (1997 年~2007 年) の再処理運転の実績から求めた放出量の最大値 1.1 を乗じて算出した。せん断粉末には TRP で処理した様々な使用済燃料が含まれていることから、核分裂生成物の含有量が多く保守的な評価となるよう TRP の基準燃料 (PWR 燃料及びふげん MOX タイプ B 燃料)⁸⁾の燃焼度等を用いて ORIGEN2.2 計算を行い、大きい方の値を選択した。冷却期間については、前回の再処理運転が 2007 年 (約 15 年前) であることを踏まえ、それぞれの基準燃料の冷却期間 (PWR 燃料 : 180 日、MOX タイプ B 燃料 : 2 年) に 10 年間を加えた値とした。したがって、実際に再処理した使用済燃料よりも燃焼度が高く、冷却期間が短い条件で ORIGEN2.2 計算を行ったため、測定値は評価値より小さくなったと考えられる。

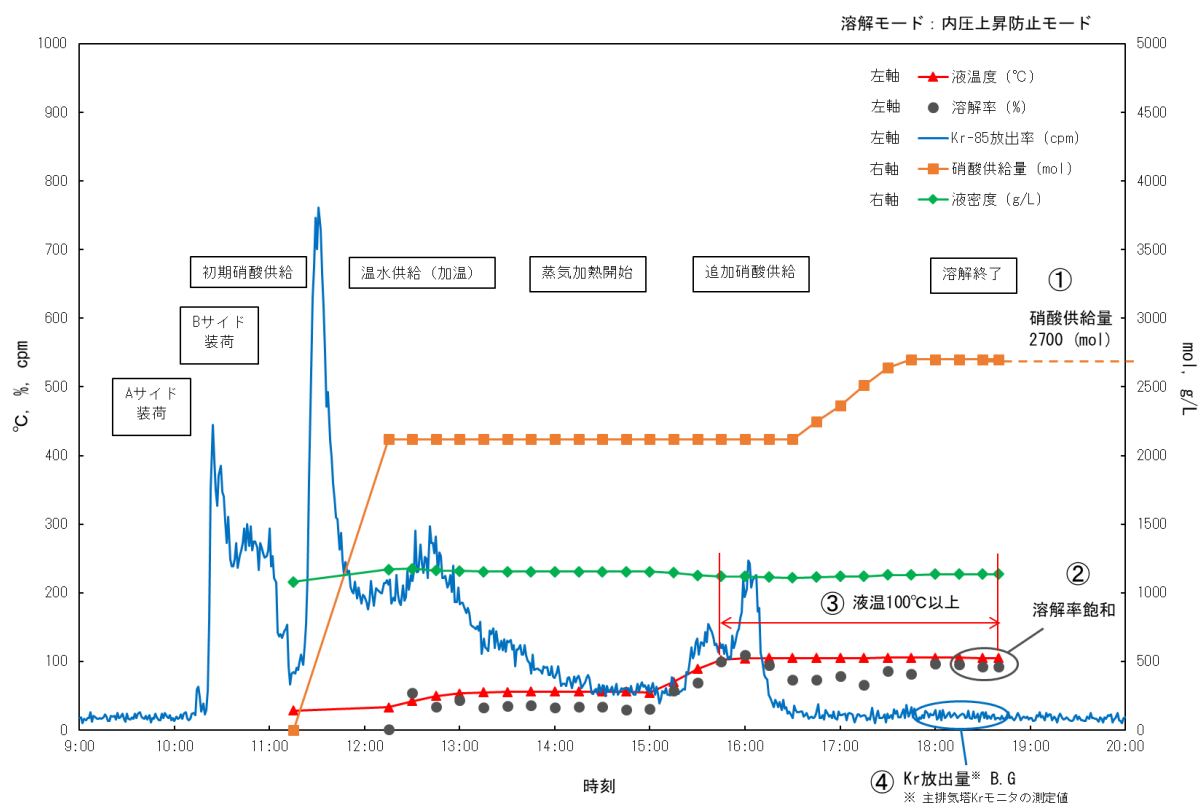


Fig. 3.4.2.1 セン断粉末溶解時のパラメータ変化（一例）

Table 3.4.2.1 セン断粉末溶解時の Kr-85 放出量

バッチ No.	評価値 [GBq]	測定値 [GBq]
FOA-001	4.6×10^3	8.9×10
FOA-002	4.2×10^3	2.4×10^2
FOA-003	4.2×10^3	1.6×10^2
FOA-004	4.9×10^3	2.3×10^2
FOA-005	4.9×10^3	2.6×10^2
FOA-006	4.9×10^3	2.7×10^2
FOA-007	4.8×10^3	2.3×10^2
FOA-008	5.0×10^3	2.4×10^2
FOA-009	4.3×10^3	1.8×10^2
FOA-010	3.2×10^3	1.5×10^2
合計	4.5×10^4	2.0×10^3

3.4.3 使用済燃料せん断粉末の溶解液の高放射性廃液貯槽への送液

せん断粉末の溶解液の送液経路を Fig. 3.4.3.1 に示す。せん断粉末の溶解液は、再処理運転時と同様にパルスフィルタで固体粒子類(スラッジ)を取り除いた後、調整槽(251V10)でサンプリングを行い U 及び Pu を計量した。計量後は、溶媒火災のリスクをなくし、使用する機器を減らすために溶媒抽出を行わずに抽出器(252R11)及び希釈剤洗浄器(252R10)を通過させ、高放射性廃液中間貯槽(252V14)を経由して高放射性廃液蒸発缶(271E20)へ送液した。高放射性廃液蒸発缶(271E20)では、再度 U 及び Pu の計量を行った後、溶液の発熱密度の増加に伴うリスクの増加を防ぐため加熱濃縮を行わずに高放射性廃液貯槽(272V31、272V33、272V35)へ送液した。

HAW は 6 基の高放射性廃液貯槽(272V31～272V36(272V36 は予備))を有しており、せん断粉末の溶解液を受入れる貯槽は、せん断粉末の取出しと同時期に行われていたガラス固化処理運転で使用する高放射性廃液貯槽(272V32、272V34)を避け、アクチニドの量ができるだけ均等になるように分配した。

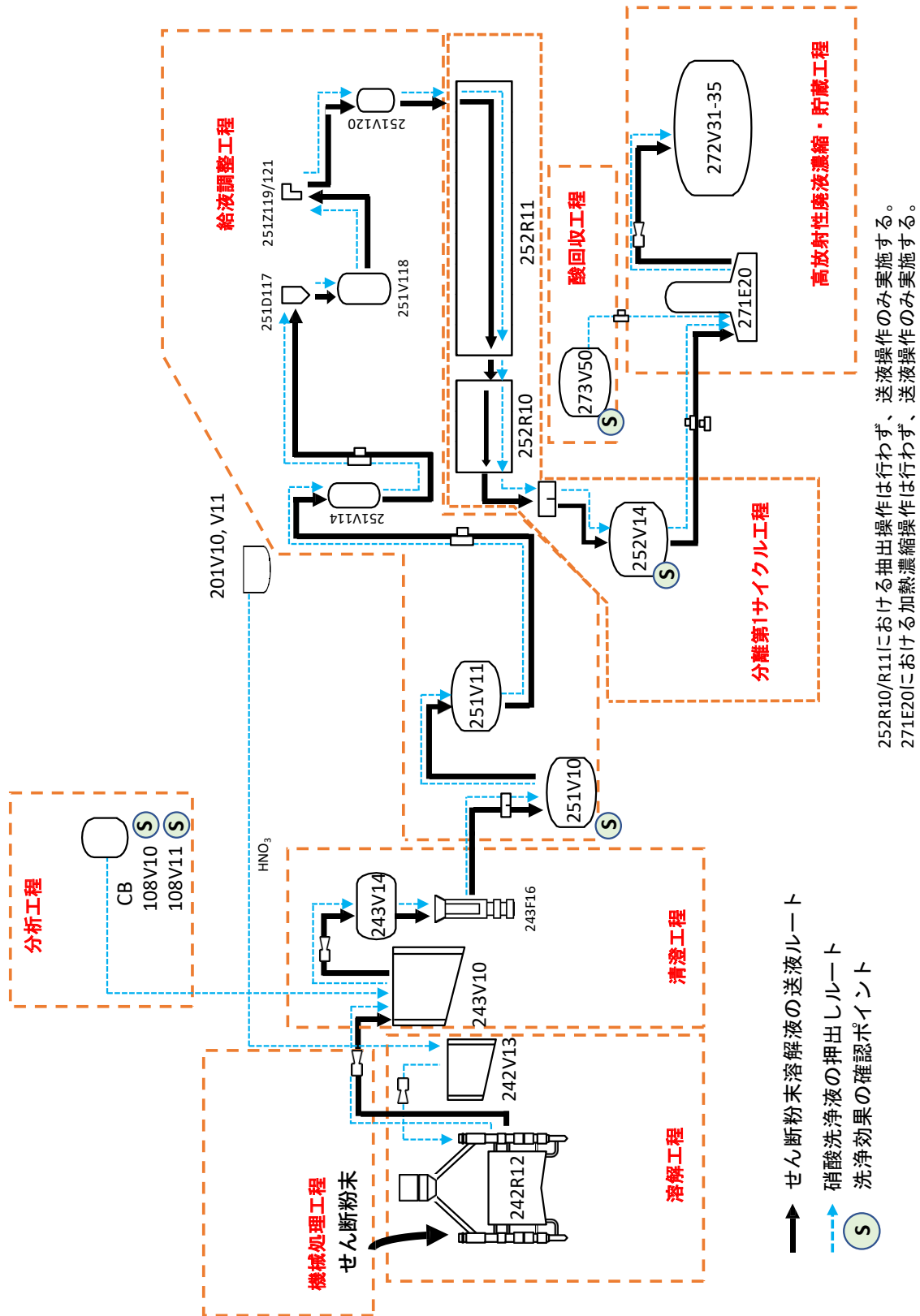


Fig. 3.4.3.1 せん断粉末末の溶解液等の送液経路

3.4.4 押出し洗浄

せん断粉末を全量溶解した後、硝酸及び水を用いて濃縮ウラン溶解槽（242R12）を洗浄した。洗浄回数は、過去の再処理運転の実績を踏まえ、硝酸洗浄を 5 回、水洗浄を 2 回とした。濃縮ウラン溶解槽（242R12）の洗浄液はせん断粉末の溶解液と同様の経路で高放射性廃液貯槽（272V31、272V33、272V35）へ送液し、送液経路に残存するせん断粉末の溶解液の押出し洗浄を実施した。その際、調整槽（251V10）及び高放射性廃液中間貯槽（252V14）で押出し洗浄液の U 濃度及び Pu 濃度を分析した。調整槽（251V10）においては、せん断粉末の装荷量及び濃縮ウラン溶解槽（242R12）等のヒール（貯槽の底部に残った残留分）を考慮して評価した予想濃度と比較することで洗浄効果を確認した。

調整槽（251V10）では、押出し洗浄により、U 濃度及び Pu 濃度は減少傾向を示すものの、酸洗浄 1 回目及び 2 回目において、Pu 濃度の変化が小さい傾向が見られた。これは、酸洗浄 1 回目及び 2 回目の押出し洗浄液に洗浄液受槽（242V13）で保有していた濃縮ウラン溶解槽（242R10～242R12）の洗浄液を混合して送液したためと考えられる。濃縮ウラン溶解槽（242R10～242R12）は、2007 年の再処理運転終了後に洗浄を実施しており、その洗浄液にはスラッジ由来の Pu が含まれる。そのため、調整槽（251V10）における Pu 濃度の下がり方は U 濃度よりも小さくなった。

その後は、U 濃度、Pu 濃度ともに減少傾向を示し、高放射性廃液中間貯槽（252V14）においても所定の洗浄回数により、工程洗浄終了の判断基準（U 濃度 1 g/L、Pu 濃度 10 mg/L）を下回ったことから、押出し洗浄を終了とした。調整槽（251V10）における洗浄効果を Fig. 3.4.4.1、高放射性廃液中間貯槽（252V14）における洗浄効果を Fig. 3.4.4.2 に示す。

なお、上記の押出し洗浄に合わせ、その他の核燃料物質（工程内の洗浄液等）の取出しとして、酸回収工程の濃縮液受槽（273V50）の洗浄液及び CB の中間貯槽（108V10、108V11）の分析試料等の高放射性廃液貯槽（272V31、272V33、272V35）への送液を実施し、核燃料物質濃度が検出下限値（U 濃度 0.01 g/L、Pu 濃度 0.05 mg/L）を下回ったことを確認した。各確認ポイント（273V50、108V10、108V11）における洗浄効果を Fig. 3.4.4.3、Fig. 3.4.4.4 に示す。

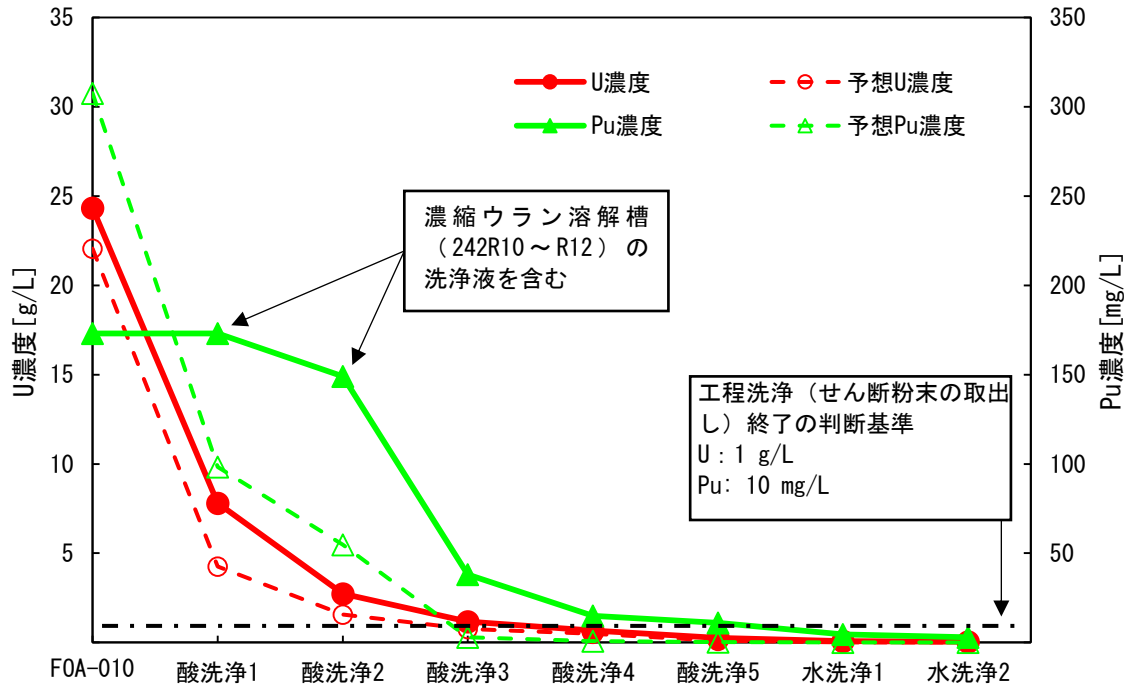


Fig. 3.4.4.1 調整槽（251V10）における洗浄効果

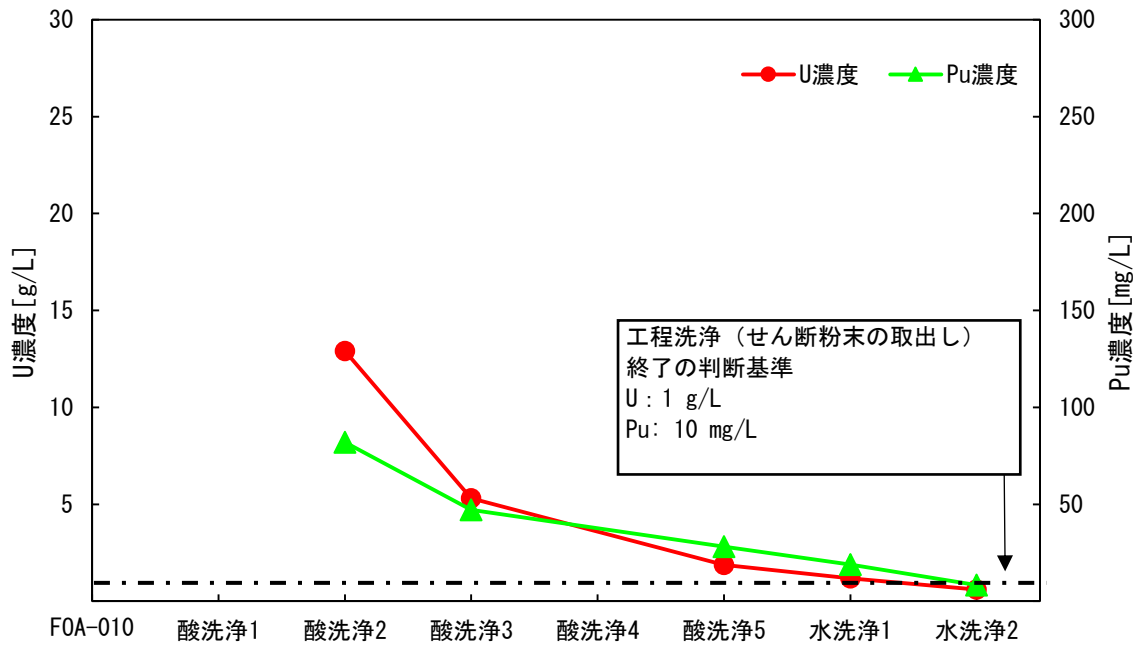


Fig. 3.4.4.2 高放射性廃液中間貯槽（252V14）における洗浄効果

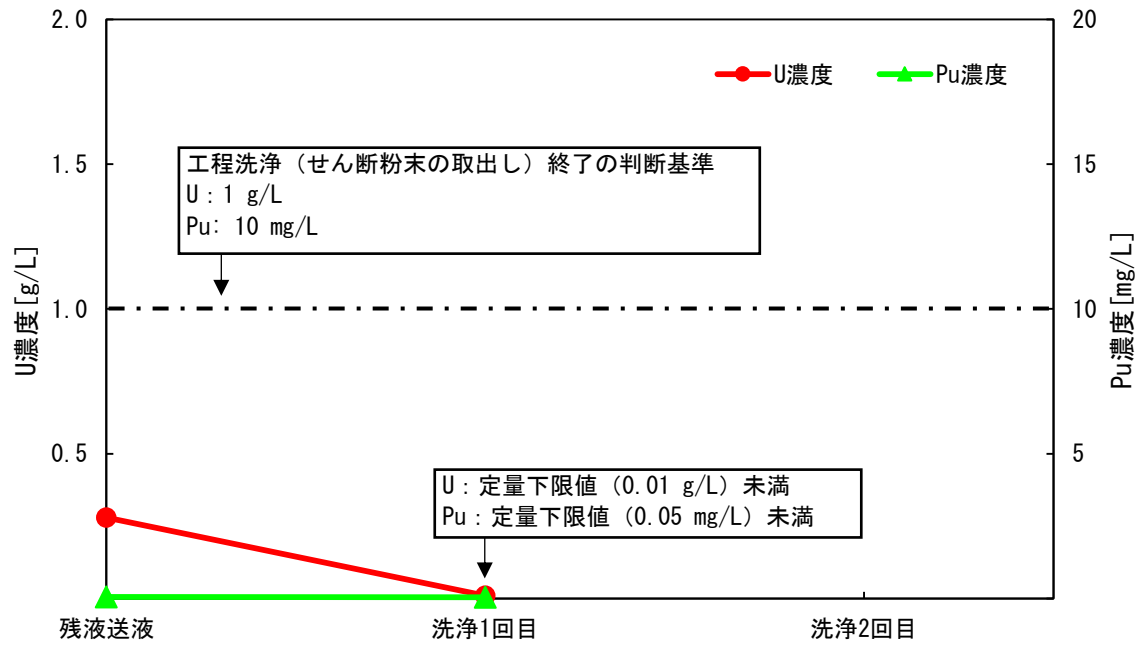


Fig. 3.4.4.3 濃縮液受槽（273V50）における洗浄効果

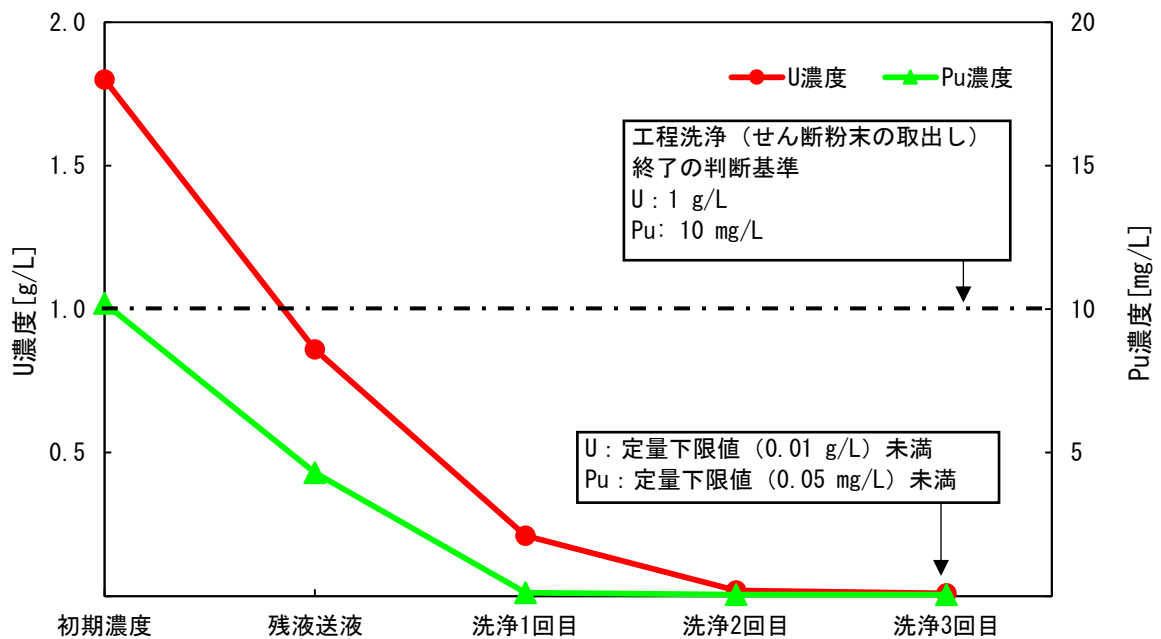


Fig. 3.4.4.4 中間貯槽（108V10、108V11）における洗浄効果

3.5 不具合事象への対応

せん断粉末の取出し中に生じた不具合事象について以下に示す。

1) せん断粉末溶解前の濃縮ウラン溶解槽の気密確認時の気密不良

溶解槽へせん断粉末を装荷後、溶解前の確認を行ったところ、濃縮ウラン溶解槽(242R12)の気密不良が生じた。関連する箇所を点検した結果、原因は濃縮ウラン溶解槽とプラグの密着不良であり、プラグセット時のズレを調整するための手順を明確化することにより溶解槽の気密確認を安定して行えるようにした。当該事象により作業は2週間程度遅れたものの、その後同様の事象は生じなかった。

2) 溶解オフガス処理セル内のドリップトレイ送液装置(204J005A)の作動不良

溶解オフガス処理セル(R005A)のドリップトレイに溜まった結露水をドリップトレイ送液装置(204J005A)で送液しようとしたところ送液できない事象が生じた。当該送液装置は湿度が高い春から秋にかけてドリップトレイに滞留した結露水の送液に頻繁に用いており、作動不良の原因は蒸気系統のストレーナのフィルタ詰まりであった。翌日にストレーナを予備品と交換することで送液可能となった。当該事象による工程への影響はなく、対策後に同様の事象は生じなかった。

3) MPの槽類換気系排風機の故障に伴う予備機への自動切替え

MPエアロック(A554)に設置されている槽類換気系排風機(245K136)が停止し、予備機(245K137)に自動的に切り替わる事象が生じた。原因は排風機のモータの絶縁不良であり、同日中にモータを予備品と交換することで復旧しており、当該事象による工程への影響はなかった。

4. まとめ

MP のせん断処理工程のセル内に滞留していた使用済燃料せん断粉末の回収をせん断工程のクリーンアップ作業として 2016 年 4 月から 2017 年 4 月にかけて実施した。回収した使用済燃料せん断粉末は、工程洗浄の第一段階として 2022 年 6 月から同年 9 月にかけて硝酸で溶解した後、HAW の高放射性廃液貯槽へ送液した。

せん断工程のクリーンアップ作業では、回収装置として遠隔操作性を高める改良を行った市販のドラム式掃除機、スクレーパ、収集アーム等を用いて、せん断機、分配器及びセル床面に滞留する使用済燃料せん断粉末を回収し、7 個の収納トレイに収納した。回収装置は高線量下（約 250 mSv/h）で約 1 年間使用したものの、動作不良が生じることなく予定した作業を終了できた。また、当該作業によりせん断機が設置されているセル内の線量率は約 100 mSv/h まで低減した。

工程洗浄においては、回収した使用済燃料せん断粉末を安全かつ早期に取り出すため、濃縮ウラン溶解槽（242R12）で少量ずつ（30 kg/バッチ以下）に分けて溶解し、その溶解液は将来のガラス固化に向けて、U 及び Pu の分離操作を行わずに HAW の高放射性廃液貯槽へ送液した。使用済燃料せん断粉末を全て溶解した後は、使用した系統の押出し洗浄を硝酸及び水を用いて実施した。押出し洗浄は洗浄液の U 濃度及び Pu 濃度が工程洗浄終了の判断基準（U : <1 g/L、Pu : < 10 mg/L）を下回ったことから、所定の洗浄回数（酸洗浄 5 回、水洗浄 2 回）で終了とした。

当該作業を開始するに当たっては、工程設備を約 15 年ぶりに稼働させることから、再処理運転を経験するベテランと若手を組み合わせた体制を整備するとともに、設備点検及び教育訓練（特にモックアップ訓練）を入念に実施した。その結果、設備の故障が生じることはなく、濃縮ウラン溶解槽の気密不良等の不具合事象に対しては速やかに対応することで、予定した作業を約 3 か月で完了できた。また、本作業を通じて工程設備に関する技術伝承を進めることができた。

今後は、工程洗浄の第二、第三段階である低濃度 Pu 溶液の取出し及び U 溶液の取出しを 2024 年度内の完了を目指して進めるとともに、系統除染の検討を併行して進めていく。

謝 辞

使用済燃料せん断粉末の取出しにおいては、核物質管理課、放射線管理第 2 課諸氏に多大なご協力を頂きましたことを深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本原子力研究開発機構, “日本原子力研究開発機構改革報告書”, (2014) .
- 2) 原子力委員会, “平成 30 年度版 原子力白書 特集 原子力施設の廃止措置とマネジメント”, (2019) , pp.4-51.
- 3) Y. Mukai, H. Nakamichi, D. Kobayashi, K. Nishimura, S. Fujisaku, H. Tanaka, H. Isomae, H. Nakamura, T. Kurita, M. Iida, K. Tajiri: “Completion of solidification and stabilization for Pu nitrate solution to reduce potential risks at Tokai Reprocessing Plant”, Proceedings of 2017 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants (2017) .
- 4) 古内雄太, 佐藤信二, 谷田部仁史, 横田知, 山田貴史, 矢作文男, 照沼宏隆, 所武司, 高橋晃浩, 飯嶋静香, 鈴木一之: “東海再処理施設における遠隔操作によるせん断粉末等の回収作業への取組みについて”, 日本保全学会 第 15 回学術講演会要旨集 (2018) , pp.496-499.
- 5) 日本原子力研究開発機構, “国立研究開発法人日本原子力研究開発機構核燃料サイクル工学研究所再処理施設に係る廃止措置計画変更認可申請書 (令和 3 年 12 月 17 日) ”, (2022) .
- 6) 黒田康司, 志知亮, 巖淵弘樹: “ふげん MOX 使用済燃料再処理試験 (2) せん断特性試験”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会予稿集 (2007) , p.843.
- 7) 鈴木一之, 菊池英樹, 畠勝郎, 田中賢, 宮本正紀, 中村芳信, 林晋一郎: “東海再処理施設 30 年のあゆみと今後の展望 (3) 溶解・清澄工程の運転実績と改良”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会予稿集 (2006) , p.560.
- 8) 白井更知, 稲野昌利: “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”, JAEA-Research 2005-001 (2005) , 7p.

This is a blank page.

