

< 別 紙 >

高レベル廃液ガラス固化建屋固化セルにおける
高レベル廃液の漏えいについて
(漏えい液の回収及び機器健全性の評価等)

平成 2 2 年 2 月 2 4 日
日本原燃株式会社

本書は記載内容のうち、内の記載事項は公開制限情報に属するものであり公開できませんので削除しております。

日本原燃株式会社

目 次

1 . はじめに	1
2 . 事象の概要	1
2 . 1 平成 2 1 年 1 月 2 1 日発生の高レベル廃液の漏えい	1
2 . 2 平成 2 1 年 2 月 1 日発生の高レベル廃液の漏えい	3
2 . 3 平成 2 1 年 1 0 月 2 2 日発生の高レベル廃液の漏えい	3
3 . 高レベル廃液漏えいの原因及び対策に対する総括	6
4 . 固化セル内の洗浄	10
4 . 1 洗浄の必要性和期待する効果	10
4 . 2 固化セル内の洗浄	11
5 . 漏えい液の回収	14
6 . 固化セル内の機器点検	15
6 . 1 固化セル内に漏えいした硝酸の挙動と機器への影響	15
6 . 2 機器点検の内容	16
6 . 3 機器点検の結果と評価	17
6 . 4 硝酸による影響を考慮した今後の対応方針	18
7 . まとめ	19
7 . 1 高レベル廃液の漏えいの対策	19
7 . 2 固化セル内の洗浄結果	19
7 . 3 固化セル内の機器点検結果及び今後の対応方針	20

添付資料

添付資料 - 1	固化セル内の漏えい（平成 2 1 年 1 月 2 1 日）の概要図
添付資料 - 2	塔槽類廃ガス処理設備の圧力の推移
添付資料 - 3	平成 2 1 年 1 月 2 1 日の漏えいにおいて推定されるメカニズム
添付資料 - 4	高レベル廃液の再漏えい（平成 2 1 年 2 月 1 日）の概要図
添付資料 - 5	固化セル内の漏えい（平成 2 1 年 1 0 月 2 2 日）の概要図
添付資料 - 6	発泡模擬液によるエアリフト揚液モックアップ試験について
添付資料 - 7	閉止フランジ部への液滞留（供給槽 A 内の高レベル廃液の発泡） 説明図
添付資料 - 8	供給槽の液位調整について
添付資料 - 9	高レベル廃液のガラス溶融炉 B への移行について
添付資料 - 1 0	着脱式トレイ概要図
添付資料 - 1 1	供給槽 A から固化セル内に漏えいした高レベル廃液
添付資料 - 1 2	固化セル内洗浄概要図

- 添付資料 - 1 3 漏えい状況概要図
- 添付資料 - 1 4 絶縁抵抗値の確認項目
- 添付資料 - 1 5 洗浄前後の外観確認結果
- 添付資料 - 1 6 洗浄液の放射性物質濃度の推移
- 添付資料 - 1 7 ガラス溶融炉 A ブスバー絶縁抵抗値測定結果
- 添付資料 - 1 8 使用電圧に対する漏えい電流算出値
- 添付資料 - 1 9 放射線状況
- 添付資料 - 2 0 固化セル内洗浄により回収された放射性物質量の評価
- 添付資料 - 2 1 漏えい液の回収率に対する誤差を考慮した評価
- 添付資料 - 2 2 放射性物質以外の核種における回収量の評価
- 添付資料 - 2 3 高レベル廃液ガラス固化建屋排気モニタ測定値
- 添付資料 - 2 4 固化セル換気系のフィルタ差圧測定値
- 添付資料 - 2 5 主排気筒からの放出放射エネルギーに係る評価
- 添付資料 - 2 6 漏えいした高レベル廃液中の硝酸の挙動と機器点検フロー図
- 添付資料 - 2 7 動的機器の点検フロー
- 添付資料 - 2 8 固化セル内機器点検内容整理表
- 添付資料 - 2 9 固化セル内機器点検結果

1. はじめに

平成21年1月21日に再処理施設高レベル廃液ガラス固化建屋固化セルにおいて発生した高レベル廃液の漏えい（以下、「1回目の漏えい」という。）及び平成21年2月1日に同セル内において発生した高レベル廃液の再度の漏えい（以下、「2回目の漏えい」という。）については、平成21年1月30日（平成21年2月24日改正）及び平成21年2月10日（平成21年2月24日改正）に提出した報告書において、原因及び対策を報告した。

その後実施した固化セル内洗浄中に、固化セルに隣接した固化セル保守第1室の線量が上昇したこと、並びに高レベル廃液中の硝酸の影響によりセル内機器に不具合が発生したことを踏まえ、固化セル内洗浄方法の改善と固化セル内機器の点検方法等について平成21年4月10日に追加報告を提出した。

固化セル内洗浄準備中の平成21年10月22日に高レベル廃液の漏えい（以下、「3回目の漏えい」という。）が再度発生し、これについては平成21年12月22日に提出した報告書において、原因及び対策を報告した。

その後、3回目の漏えいの対策を実施するとともに、改良した方法により洗浄を再開して終了した。

また、平成21年4月から実施している固化セル内機器点検についても一部の機器を残して終了した。

本報告は、これまで3回発生した高レベル廃液漏えいの原因究明と対策の総括、その後の洗浄による漏えい液の回収、並びに機器の健全性の評価等を取り纏めたものである。

2. 事象の概要

2.1 平成21年1月21日発生の高レベル廃液の漏えい

(1) 発生事象の概要

平成21年1月21日に固化セル内の閉止フランジ（以下「北側閉止フランジ」という。）から高レベル廃液が漏えいしていることを確認した。また、同日固化セル内の北側閉止フランジに隣接した閉止フランジ（以下、「南側閉止フランジ」という。）から高レベル廃液が漏えいしていることを確認した。なお、北側及び南側閉止フランジは、ガラス溶融炉の保修のためガラス溶融炉への高レベル廃液供給配管を閉止していたものである。（添付資料 - 1 参照）

(2) 調査結果

設備の状態

- ・漏えいが確認された時点で、北側閉止フランジに接続されているエアリフトのパージ用圧縮空気流量が通常値（約20L/h）よりも大きい値（約65L/h）であった。供給槽Aの液量については、1月9日から液位が低下していたが、漏えい確認後、北側閉止フランジに接続されているエアリフトのパージ用圧縮空気流量を通常値に復旧したところ、供給槽Aの液位の低下が停止した。なお、南側閉止フランジに接続されているエアリフトのパージ用圧縮空気流量は通常値であった。
- ・1月15日に塔槽類廃ガス処理設備で系統内の負圧が通常より深くなる事象が発生した。また、その後の復旧作業のため負圧を通常より浅くし、通常状態に復旧した。このため急激な負圧の変動が発生していた。（添付資料 - 2 参照）

供給槽A内からの高レベル廃液の移行量

- ・北側閉止フランジ部に移行した高レベル廃液は、約149Lであった。
- ・南側閉止フランジ部に移行した高レベル廃液は、約20～30mLであった。

(3) 推定原因

以上の調査結果から、高レベル廃液が閉止フランジ部に移行した原因を以下のとおり推定した。（添付資料 - 3 参照）

- ・エアリフトパージ用圧縮空気流量が通常値（約20L/h）よりも大きい値（約65L/h）になっていたことにより、高レベル廃液が揚液されたこと（北側閉止フランジ）
- ・塔槽類廃ガス処理設備で発生した過負圧事象及びその復旧作業等において塔槽類廃ガス処理設備の系統内圧力が急激に変動し、エアリフト配管内の空気流量が一時的に大きくなったこと（北側及び南側閉止フランジ）
- ・エアリフトパージ用圧縮空気流量が通常値よりも大きい値となっていたことについては、流量計に設置している流量設定弁への人等の接触があったことによる可能性があること

(4) 対策

- ・エアリフトパージ用圧縮空気流量を通常値（約20L/h）に設定する。
- ・人等の接触により簡単に流量設定が変わらないように、エアリフトパージ用圧縮空気流量の流量設定弁への近接防止を行うとともに、偶然接触

した場合などに簡単に流量設定弁が動かないように流量設定弁の養生を行う。

- ・ 固化セル内の高レベル廃液等の系統に設置する閉止フランジの取付け作業を行う際には、ガスケット再使用の禁止等閉止フランジに廃液等が移行することを考慮した取付け方法に見直し、マニュアル化する。

2.2 平成21年2月1日発生の高レベル廃液の漏えい

(1) 発生事象の概要

平成21年2月1日に再び北側閉止フランジから高レベル廃液が漏えいしていることを確認した。その後、北側閉止フランジ及び南側閉止フランジを取外し配管内の廃液を回収した。北側の配管からは、固形状の物質とスラリー状の廃液が回収された。(添付資料 - 4 参照)

(2) 調査結果

設備の状態

- ・ 供給槽 A からのエアリフトのパージ用圧縮空気流量は通常値 (約 20 L/h) であった。
- ・ 1 回目の漏えいから、2 回目の漏えい発生の間、塔槽類廃ガス処理設備に急激な負圧の変動はなかった。(添付資料 - 2 参照)

高レベル廃液の回収量

- ・ 北側フランジ：約 100 ~ 200 mL
- ・ 南側フランジ：数 mL

(3) 推定原因

以上の調査結果から、高レベル廃液が閉止フランジから再度漏えいした原因を以下のとおり推定した。

- ・ 高レベル廃液漏えい後の配管内の残留廃液回収作業が十分でなかったことから、北側閉止フランジにつながっている配管内にスラリー状の廃液が残留していた。

(4) 事象発生後の対応

閉止フランジを開放し、配管内に残留しているスラリー状の廃液を回収した。

2.3 平成21年10月22日発生の高レベル廃液の漏えい

(1) 発生事象の概要

平成21年10月22日に南側閉止フランジ下に設置しているトレイ内

に液だまりがあることを確認した。発見した液だまりの液量は、約 20 mL と推定した。(添付資料 - 5 参照)

(2) 調査結果

設備の状態

- ・ 2 回目の漏えい後に閉止フランジを取付けた 2 月 19 日以降から漏えい発生時までの間(約 8 ヶ月)、エアリフトパージ用圧縮空気流量の変動を 1 日 1 回の巡視点検記録により調査した結果、流量の変動は約 15 ~ 25 L/h 以内に収まっていることを確認した。
- ・ 2 回目の漏えい後に閉止フランジを取付けた 2 月 19 日以降から漏えい発生時までの間、塔槽類廃ガス処理設備の負圧変動発生の有無について運転データを調査した結果、供給槽 A 内の液が揚液されるほど大きな負圧の変動が発生していないことを確認した。(添付資料 - 2 参照)

供給槽 A 内からの高レベル廃液の移行量

- ・ 北側閉止フランジ部に移行した高レベル廃液は、約 375 mL であった。
- ・ 南側閉止フランジ部に移行した高レベル廃液は、約 155 mL (トレイ内の液だまりを含む) であった。

供給槽 A から高レベル廃液が移送された可能性

- ・ 高レベル廃液をサンプリングし、当該試料へ空気を供給した際に発泡することを確認した。
- ・ 高レベル廃液の発泡状態を模擬した溶液を用いたモックアップ試験により、発生した泡の膜がエアリフトパージ用圧縮空気により上昇し、気液分離器に達し、閉止フランジ部に移行することを確認した。(添付資料 - 6 参照)

配管内に洗浄水が残留していた可能性

- ・ 2 回目の漏えい後における洗浄の状況を録画映像により確認したところ、最後に洗浄したときの洗浄水は両閉止フランジとも黒かった。
- ・ 今回、北側・南側の両閉止フランジを取り外して液を回収した後、配管の出口部を確認したところ、北側で黒い固形物が認められた。

インパクトレンチの性能確認

- ・ 南側閉止フランジに設置されていた金属ガスケットを観察した結果、Cリングが潰れていないことを確認した。このため、閉止フランジを取付ける際に閉止フランジのボルトを締め付けるために使用したインパクトレンチの締め付けトルクを調査した結果、締め付けトルクが低下していることを確認した。さらに、締め付けトルクが低下した原因として、モータの性能低下が考えられることから、インパクトレンチのモータ部に

おける抵抗値測定（通常3 程度）を行ったところ、抵抗値が増大していることを確認した（抵抗値は、400M を超えていた）。

- ・モータ部の抵抗値が増大する原因としては、当該インパクトレンチを1、2 回目の漏えい後における閉止フランジの取付け・取外しに使用していたため、モータ内部のコイル部に硝酸（漏えいした高レベル廃液の硝酸）の影響で腐食等による異常が発生した可能性がある。
- ・当該インパクトレンチは、今回の調査に至るまで締め付けトルク及び使用実績に関するデータが管理されていなかった。このため、締め付けトルクが低下した時期については不明であるが、1、2 回目の漏えいが発生したことにより他のインパクトレンチよりも使用頻度が高くなったこと及び固化セル内に搬入する前に管理区域外の施設において既に訓練で使用されていた（訓練での使用頻度は固化セルにおける使用頻度よりも高かった）ことから、その他の原因として、経年劣化も考えられる。
- ・この締め付けトルクが低下したインパクトレンチを遠隔操作により閉止フランジの締め付け（水平方向）に使用した際、さらに締め付けトルクが低下し、閉止フランジのボルトが十分締め付けられていなかったと考えられる。

（3）推定原因

以上の調査結果から、供給槽 A 内の高レベル廃液を含む液が閉止フランジ部に滞留した原因、補助ホイストチェーンが閉止フランジ把持部に接触した際に液が漏えいした原因を以下のとおり推定した。

供給槽 A 内の高レベル廃液を含む液が閉止フランジ部に滞留した原因

- ・供給槽 A 内の高レベル廃液がエアリフトパージ用圧縮空気によりエアリフト配管内で発泡し、供給槽 A 内の廃液を含む泡の膜がエアリフトパージ用圧縮空気を駆動源として気液分離器まで達し、閉止フランジ部に移行し滞留した。（添付資料 - 7 参照）
- ・2 回目の漏えい後に配管内等の洗浄が十分でなかったため、配管内に放射能濃度の高い液が少量残留し、閉止フランジ取付け後に閉止フランジ部に移行し滞留した。

補助ホイストチェーンが閉止フランジ把持部に接触した際に液が漏えいした原因

- ・硝酸の影響等により締め付けトルクが低下したインパクトレンチを使用して閉止フランジのボルトを締め付けたため、十分締め付けられていなかった。
- ・当該インパクトレンチについては締め付けトルク及び使用実績に関する

データが管理されていなかった。

(4) 対策

供給槽 A 内の高レベル廃液を含む液が閉止フランジ部に滞留したことに対する対策

- ・供給槽 A 内に溶液を貯留し、長期間エアリフトパージ用圧縮空気と溶液が接触していたことによりエアリフト配管内で泡が発生し、供給槽 A 内の廃液を含む泡の膜がエアリフトパージ用圧縮空気を駆動源として気液分離器まで達し、閉止フランジ部に移行し滞留した。このことから、エアリフトパージ用圧縮空気流量を低下させる(5 L/h程度)とともに、設備点検等設備を長期停止し高レベル廃液供給配管に閉止フランジを設置する場合には、エアリフトパージ用圧縮空気吹き込み部に高レベル廃液が接触しないよう供給槽の液位を下げることで、その旨を運転管理のマニュアルに明記する。なお、エアリフトパージ用圧縮空気流量を低下させるために、流量計を交換するとともに流量制限オリフィスを追加設置する。(添付資料 - 8 参照)
- ・閉止フランジに接続されている配管内に液が滞留している可能性を考慮し、閉止フランジを取り外す場合は、今後も継続して液を受ける措置を講じることとし、その旨を遠隔保守のマニュアルに明記する。
補助ホイスチェーンが閉止フランジ把持部に接触した際に液が漏えいしたことに対する対策
- ・締め付けトルクが低下したインパクトレンチを新規品に交換するとともに、今後の作業管理として保守作業(設備点検等)の開始前と終了後に締め付けトルクを確認する。
- ・インパクトレンチの使用実績に関するデータの管理・蓄積を行うとともに、今後、蓄積したデータを基にインパクトレンチの適切な交換時期について検討していく。

3. 高レベル廃液漏えいの原因及び対策に対する総括

(1) 原因究明について

1 回目の漏えいは、約 149 L の高レベル廃液が供給槽 A から比較的短期間で閉止フランジ部へ移行している。

そのため、供給槽 A の液位の変化を調査し、高レベル廃液が漏えいし始めた時期、漏えいしていた期間を推定し、推定された期間において約 149 L の高レベル廃液を移行させたことに対して考えられる事象を抽出し、

その可能性についてモックアップ試験結果も踏まえて評価を行った。

その結果、エアリフトパージ用圧縮空気流量が設定していた値（約20 L/h）から増大していたこと及び換気設備の負圧変動が発生したことが、約149 Lの高レベル廃液を移行させた原因であると推定した。

2回目の漏えいについては、1回目の漏えいにより閉止フランジ部に移行した高レベル廃液を、閉止フランジのボルトを緩めるだけで回収できると考えたが、実際には回収しきれなかった高レベル廃液が閉止フランジ部に接続されている配管内に残留していたことにより発生したものであると推定した。

3回目の漏えいにおいて高レベル廃液が移行した原因及びメカニズムとしては、エアリフト配管内で高レベル廃液が発泡し、泡の膜がエアリフトパージ用圧縮空気（約20 L/h）により少量ずつ閉止フランジ部に移行したものと推定した。また、この少量の泡が、閉止フランジの取付け期間約8ヶ月の間に数百mLの量となったものと推定した。

このことから、1回目の漏えいで高レベル廃液が移行した主原因が変わるものではないが、北側及び南側の閉止フランジ部から漏えいした廃液量の一部には、3回目の漏えいの原因である泡の影響により移行したものも含まれていたと考えられる。従って、この泡による高レベル廃液の移行も、1回目の漏えい時の原因の1つとして追加するべきものであった。

なお、泡による高レベル廃液の移行については、現在待機中のガラス溶融炉B系列も同一の条件下にある。ガラス溶融炉B系列への高レベル廃液供給配管はA系列と異なり溶融炉に接続されているため、配管内には廃ガスの流れが常に存在している。そのため、高レベル廃液の泡が発生しても同配管内で大部分が蒸発するため、ガラス溶融炉Bへの影響は小さいものと考えられるが、仮に泡がガラス溶融炉Bに達しても、溶融炉自体で閉じ込め系が健全に維持されているため、安全上の問題は生じない。（添付資料-9参照）

3回目の漏えいの原因の1つである「締め付けトルク性能が低下したインパクトレンチ」については、1回目及び2回目に漏えいした高レベル廃液中の硝酸の影響等により生じたものであった。

（2）再発防止対策について

高レベル廃液の移行防止措置について

1回目の漏えいを受けてエアリフトパージ用圧縮空気流量を設定した値（約20 L/h）よりも大きい値（約65 L/h）とならないよう、エアリフトのパージ用圧縮空気流量の変動防止措置（設定した値の維持）

を対策とした。

しかし、この対策は、約149Lの高レベル廃液を短期間に移行させた原因に対し有効な対策ではあったが、3回目の漏えいの原因である泡による少量の高レベル廃液の移行に対しては効果がなかった。

そこで、3回目の漏えいの対策として、供給槽の液位を下げることによりエアリフトパージ用圧縮空気吹き込み部に高レベル廃液を接触させない措置を講じるとともに、エアリフトパージ用圧縮空気流量を通常設定値(約20L/h)からさらに低下(5L/h程度)させることにより、高レベル廃液の移行防止を確実なものとする事とした。

閉止フランジの取付け方法の見直しについて

1回目及び2回目の漏えい後、ガスケットの再使用禁止等、閉止フランジに高レベル廃液等が移行した場合も考慮した取付け方法の見直しを行った。しかしながら、閉止フランジを取付ける際に使用するインパクトレンチの締め付けトルク性能が漏えいした高レベル廃液中の硝酸の影響等で低下したため、十分な締め付けが出来ていなかった。

固化セル内機器に対する硝酸の影響については、点検対象を選定して点検を実施していたが、インパクトレンチは治工具であるため、この点検の対象とならず、3回目の漏えいの原因の1つとなった。

このため、インパクトレンチを使用する場合は、保修作業の開始前と終了後にインパクトレンチの締め付けトルクの確認等を行うことにより、十分な締め付けトルクを確保することとした。

なお、配管内に液が滞留している可能性を考慮して、閉止フランジを取り外す場合は、液を受ける措置を講じることとし、その旨を遠隔保守のマニュアルに明記した。

以上の対策は、ガラス溶融炉A系列だけではなくB系列にも適用する。

これらの高レベル廃液の移行防止措置及び閉止フランジの取付け方法の見直しを確実にを行うことにより、固化セルにおける高レベル廃液の漏えいに対して十分な再発防止が図られるものと考えている。

また、高レベル廃液漏えいに係る組織要因については、平成21年4月30日に報告書を提出したが、報告書で示した組織要因に係る対策については、「組織要因に係る対策のアクションプラン(安全基盤の強化に向けたアクションプラン)」を定めて実施しているところである。

(3) 高レベル廃液漏えいに対する早期検知への改善

これまでの高レベル廃液の漏えいでは、漏えいの発生から漏えいを確認するまでに時間を要したことや、トレイに溜まった液のサンプリングに時間を要していたことから、早期検知について以下の改善策を実施する。

現状の検知方法

現状の設備で漏えい検知を目的とした監視方法には、漏えい液受皿の液位の監視及びITVカメラによる目視の2つがある。ITVカメラによる目視については、平成21年1月に発生した漏えい事象の対策として、トレイの状態を定期的に(1回/日)点検しているが、漏えいの早期検知に対しては以下のような設備上の制約がある。

手法	設備面の制約
漏えい液受皿の液位監視	漏えい液受皿の集液部まで液が到達しなければ検知できない。
ITVカメラによる目視	パワーマニプレータ付ITVカメラによる監視が主であるため、連続的な監視ができない(他の固化セル内遠隔作業との調整が必要)。

早期検知方法の改善策

上記設備面の制約を考慮し、高レベル廃液の漏えいを早期に検知する観点から、以下の改善策をガラス固化施設のアクティブ試験再開までに実施する。

手法	概要
固定ITVカメラによる監視 + 着脱式トレイの設置	固定ITVカメラの設置場所を変更して視野を広げることで、パワーマニプレータ付ITVカメラを使用しなくても監視ができるようにする。監視方法については、遠隔保守作業時に閉止フランジ部に干渉があった場合はトレイを確認することはもとより、高レベル廃液供給配管下部トレイについては1直(8時間)1回の点検を行うこととし、漏えいの見過ごしによるリスクの低減化を図ることとする。さらに、着脱式トレイを設置することによって、液の回収・サンプリングが速やかにできるようにする(添付資料 - 10参照)。

4. 固化セル内の洗浄

4.1 洗浄の必要性和期待する効果

1回目及び2回目に発生した高レベル廃液の漏えいにおいて、約149 Lが供給槽Aから配管内に移行し、このうち配管内に残留していた約1 Lを除く約148 Lが固化セル内に漏えいしたと推定した。この固化セル内に漏えいした約148 Lのうち、約16 Lが漏えい液受皿集液ポットに残留していた。その後、同ポットに残留していた約16 Lと配管内に残留していた約1 Lの合計約17 Lを高レベル廃液共用貯槽に回収した。

また、3回目に発生した高レベル廃液の漏えいにおいて、トレイ上に約20 mLが漏えいし、配管内に残留していた高レベル廃液(約510 mL)を含め約1 Lを高レベル廃液共用貯槽に回収した。

したがって、平成21年1月以降、供給槽Aから固化セル内に移行した高レベル廃液は合計約150 Lであり、その内約18 Lを高レベル廃液共用貯槽に回収したが、残りの約132 Lは蒸発・析出し、その放射性物質の多くがセル内に残留したと考えられる。(添付資料 - 11参照)

固化セルは、もともとガラス溶融炉等を遠隔交換することを前提としているため、セル内の汚染を考慮した閉じ込め及びしゃへい設計が施されている。しかし、セル内のバックグラウンドが高くなると、特に、固化セル内で漏えいが検知された場合、高レベル廃液の漏えいなのかその他の要因によるものなのかが、採取試料の分析結果では判断できなくなることが懸念される。したがって、洗浄により、こうした運転管理に係る安全上の要求事項が確保できるレベルまで、汚染を低減しておく必要がある。

また、漏えいによる影響として、漏えいした高レベル廃液の付着物による影響が懸念される箇所について調査を行った結果、ガラス溶融炉の関連機器である金メッキした銅板で構成する電路(以下、「ブスパー」という)における絶縁抵抗値(電路 - 大地間)が、数k 程度まで低下している箇所があることが確認された。この状態でブスパーへ通電した場合、ブスパーの絶縁部(アルミナ含有磁器)に付着した物質に漏えい電流が流れ、発熱による絶縁部の温度上昇及びこれに伴う絶縁抵抗の低下を招き、更に電流が増加して絶縁破壊に至る可能性が懸念される。このため、絶縁抵抗を回復させておく必要がある。

以上のことから、高レベル廃液漏えいの有無に係る判断に支障がないレベルまで固化セル内の汚染を低減すること、並びにブスパーの絶縁抵抗が「電気設備に関する技術基準を定める省令」(以下、省令という。)で規定した基準値を満足し、安全に再利用できるようにすることを目的に洗浄を

行うこととした。

なお、固化セルは換気回数を低く抑えているため、漏えい液の硝酸蒸気が固化セル内に循環して、漏えい液が直接かからない機器についても影響を及ぼすおそれが考えられる。そこで、これら硝酸の影響が懸念される機器を対象に点検を行うこととし、詳細を6章に示す。

4.2 固化セル内の洗浄

(1) 洗浄範囲と方法

洗浄の対象は1回目の漏えいで汚染した箇所であり、その漏えいの状況は、北側閉止フランジから漏えいし(約148L)トレイを満たした後溢流し、下部の機器を濡らしながら床面に流下し、一部は床面を流れて漏えい液受皿集液ポットに流入(約16L)したが、大部分は漏えい液受皿集液ポットに辿り付く前に蒸発・析出したものであった。従って、漏えいした液に含まれる放射性物質は、フランジ下部の床面から集液溝を経由して漏えい液受皿集液ポットまでの勾配に沿ったルートに主に残留していたと考えられる。

また、洗浄効果を確実なものとするためには加圧水を用いることが必要であるが、一方で、セル内での加圧水による洗浄は、固化セル内に設置された多くの機器に予想外の不具合を引き起こすおそれがある。

以上より、洗浄の範囲としては、安全上の観点から、漏えい液の飛散により通電時に絶縁破壊のおそれがあるブスバーを必須とし、さらに、未回収の放射性物質の大部分が残存していると思われる、漏えい液が飛散した範囲を含めることとした。

洗浄方法としては、洗浄対象箇所ごとに複数回に分けて行うとともに、上記漏えい液の流下挙動を考慮して、上部の閉止フランジから開始し、順次その下部に移動し、トレイ直下の配管、さらにはその下のブスバーの順に洗浄を行うこととした。これにより、いずれの洗浄液も、放射性物質の大部分が残留していると考えられる閉止フランジ下の床面から、集液溝を流れて、漏えい液受皿集液ポットに集まる。こうした手順により、放射性物質の大部分が残留している閉止フランジ下部の床面から集液溝を、繰り返し洗浄することができる。

したがって、漏えい液受皿集液ポットに溜まった洗浄液を採取し、放射性物質濃度を測定することにより洗浄効果の推移を確認することができる。

(添付資料 - 12、13参照)

(2) 洗浄後の確認項目

洗浄後の確認項目は、以下のとおりとした。

外観確認

高レベル廃液が付着した機器に対しては、機器表面を洗浄し、付着物が洗い落とされたことをITVカメラによる目視観察により確認することとした。

洗浄液の放射性物質濃度

洗浄の進展により機器及び床面等に付着した放射性物質の除去量は減少していくため、洗浄液中の放射性物質濃度もこれに伴い低下していくと考えられる。このため、洗浄液中の放射性物質濃度を分析することにより、放射性物質濃度及びその低下傾向を確認する。

測定対象は、高レベル廃液全体の収支を確認する視点から、全放射性物質濃度とした。また、確認のため単一核種として最も計数値が大きく放射能測定精度が高いセシウム137も対象とした。

ブスバーの絶縁抵抗値測定

洗浄後における絶縁抵抗（ブスバーの相互間、ブスバーと大地との間）の回復確認については、省令に基づき、以下を確認することとした。（添付資料 - 14 参照）

a．省令第22条（低圧電線路の絶縁性能）

使用電圧に対する漏えい電流が最大供給電流の2000分の1を超えないこと

b．省令第58条（低圧の電路の絶縁性能）

絶縁抵抗値が0.4M以上であること

(3) 洗浄後の確認結果及び評価

外観確認

洗浄前と洗浄後の状況についてITVカメラを用いて目視観察した結果、付着物が除去されていることを確認した。また、破損・へこみのような異常は確認されなかった。（添付資料 - 15 参照）

洗浄液の放射性物質濃度

洗浄を進めるに従い、洗浄箇所ごとに漏えい液受皿集液ポットに溜まった洗浄液を採取し、全放射性物質濃度、セシウム137濃度の推移を確認した。洗浄の進展により洗浄液の放射性物質濃度の分析結果が、高レベル廃液の放射性物質濃度（ 10^9 Bq/mL程度）の1000分の1程度である 10^6 Bq/mLのオーダーまで低下し、それ以上低下

しないことが確認された(添付資料 - 16 参照)。これにより、閉止フランジ下の床面から集液溝を経て漏えい液受皿集液ポットまでの、放射性物質の大部分が残留していた範囲を除染できたと考えられる。この程度まで低下すれば、固化セルの運転管理上必要な、漏えい液受け皿集液ポットからの採取試料による高レベル廃液漏えいの有無に係る判断に支障がないと判断した。

ブスバーの絶縁抵抗値測定

ブスバーの絶縁抵抗値測定を実施した結果、漏えいにより数 k 程度まで低下した絶縁抵抗値が洗浄により 0.4 M 以上となったことを確認した。(添付資料 - 17 参照)

また、使用電圧に対する漏えい電流の算出値が最大供給電流の 2000 分の 1 を十分下回っていることを確認した。(添付資料 - 18 参照)

以上から、一連の洗浄により、洗浄液の放射性物質濃度が固化セルの運転管理上必要な、漏えい液受け皿集液ポットからの採取試料による高レベル廃液漏えいの有無に係る判断に支障がないレベルまで低下したこと、さらには、ブスバーの絶縁性能が所定の値を満足したことから、期待した洗浄効果が得られたと判断した。

(4) 固化セル内洗浄方法の改善

洗浄の開始当初、貫通プラグとスリーブの間隙に微量の洗浄液が浸入し、固化セルに隣接した固化セル保守第 1 室の線量が上昇したため、洗浄を一時的に中断した。その後、洗浄水の浸入防止対策を改良し、以下を実施した。

貫通プラグ部の隙間充てんに使用されているシール材を事象発生時に使用していたものより信頼性の高いチタニウムパテに交換

洗浄液の浸入防止及び希釈効果により貫通プラグ内の放射性物質濃度を低減するため、貫通プラグに水パーシ治具を設置

上記措置を実施した後、固化セル保守第 1 室の線量を常時監視しながら洗浄を再開したところ、作業の中断が必要な線量の上昇はなく、洗浄を遂行することができた。(添付資料 - 19 参照)

今回の固化セル内洗浄では、固化セルに隣接し人が立ち入る固化セル保守第 1 室の線量が上昇したため、固化セル保守第 1 室ではしゃへい体等を使用して線量を低減する措置を施すとともに、作業員の放射線管理のため、線量の常時監視を実施した。今後も放射線管理等を徹底し、作業員の安全

管理に努めて行くこととする。

5. 漏えい液の回収

(1) 洗浄により回収した放射性物質の量

これまでの高レベル廃液の漏えいにおいては、合計約150Lの高レベル廃液が供給槽Aから固化セル内の閉止フランジ部に移行したと推定される。このうち、約18Lについては、漏えい液として高レベル廃液共用貯槽に回収した。また、固化セル内の洗浄により発生した洗浄液も全て高レベル廃液共用貯槽に回収した。そこで、供給槽Aから固化セルへ漏えいした高レベル廃液の量及び放射性物質濃度と、高レベル廃液共用貯槽に回収した高レベル廃液及び洗浄により発生した洗浄液(以下、「洗浄液等」という。)の量及び放射性物質濃度を比較することで、放射性物質の回収量の評価を行うこととした。

放射性物質の総量を比較する観点から、回収率の評価には放射性物質量の大部分を占める全放射性物質量(Bq)を用いた。分析及び液量の計量誤差を考慮した上で回収率を計算した結果は約97%(±19%)であった。なお、単一核種として最も計数値が大きく放射能測定精度が高いセシウム137の回収率についても、全放射性物質の結果と同等であった(添付資料-20、21参照)。また、放射性物質以外の核種については、セシウム137に比べて放射性物質濃度が十分小さいことから、回収率の評価は全放射性物質で行った。(添付資料-22参照)

全放射性物質量：放射線を放出する核種の放射性物質の総量

項目	放射性物質量 (Bq)		回収率 (%)
	固化セルへ漏えいした高レベル廃液	洗浄液等	
全放射性物質	5.6E+14	5.4E+14	97 (±19)
Cs-137	5.2E+14	5.1E+14	98 (±19)

(2) 固化セル換気系の放射線状況等

これまでに発生した高レベル廃液の漏えい時及び固化セル内洗浄期間における、高レベル廃液ガラス固化建屋排気モニタの測定値を添付資料-23に示す。高レベル廃液の漏えいが発生した時点を含め、いずれも通常の変動範囲内であり、洗浄等に伴う異常はなかった。

また、固化セル換気系に設置されている粒子フィルタ及び排気フィルタ

の差圧測定値を添付資料 - 24 に示す。高レベル廃液の漏えいが発生した時点を含め管理範囲内に収まっており、粒子フィルタ及び排気フィルタの健全性は維持されていた。

(3) 漏えい液の回収についての評価

洗浄液等に含まれる放射性物質量の総和は、漏えいした高レベル廃液に含まれる放射性物質量の評価値に対して、全放射性物質量で97% (±19%) であった。

回収されなかった一部の放射性物質は、漏えい時、固化セル雰囲気に移行して固化セル換気系の洗浄塔・高性能粒子フィルタで除去されたと考えられるが、文献に記載された知見でも、液相から気相への放射性物質の移行率は 10^{-5} 程度と小さいとされており、高レベル廃液ガラス固化建屋内に設置されている建屋排気モニタの測定値が通常の変動範囲内であったことから、固化セル内に残留した高レベル廃液に含まれる放射性物質の換気系への移行については、わずかであったと考えられる。さらに、高レベル廃液漏えい以降も固化セル換気系は正常に維持されていること並びに主排気筒からの放出放射線エネルギーも検出限界値未満であったことから、環境への放射線影響はなかった。(添付資料 - 25 参照)

なお、固化セル内の機器等については残留している放射性物質の放射線による影響はないものとする。

S.L.Sutter, et al., "Aerosols Generated by Free Fall Spills of Powder and Solution in Static Air", NUREG/CR-2139, December 1981.

6. 固化セル内の機器点検

6.1 固化セル内に漏えいした硝酸の挙動と機器への影響

固化セル内に漏えいした高レベル廃液は硝酸分を含んでおり、この硝酸分は以下の挙動を取ったと考えられる。(添付資料 - 26 参照)

漏えい後に蒸発。その後、

- (a) 固化セル換気系に引かれ、換気系の洗浄塔で除去される。
- (b) 固化セル内の設備の炭素鋼の部分に付着し、酸化反応で硝酸塩(硝酸鉄)になる。
- (c) 固化セル内の上記以外の設備(ステンレス鋼製機器等)に付着するが、反応せずに再び蒸発する。

水・硝酸分は蒸発し、高レベル廃液中に存在していた硝酸塩が漏えい箇所に残留する。

漏えい後、固化セル内の漏えい液受皿集液ポットに集液され、高レベル廃液共用貯槽に回収される。

各挙動における機器への影響と対応については以下に取り纏めた。

(a)は硝酸分が洗浄塔で除去され、低レベル廃液処理設備で処理されるため、機器への影響はない。

(b)については、硝酸と炭素鋼とが酸化反応し、その際に発生するNO_xが一部の機器に使用されている潤滑剤と反応すること等から固化セル内の機器に影響を及ぼしていることが確認された。

(c)の炭素鋼以外のステンレス鋼製機器等は硝酸による影響を受けにくいものと考えた。

については、高レベル廃液が漏えいした範囲の機器は、ステンレス鋼製等で硝酸の影響を受けにくいものではあるが、硝酸塩が水溶性であることから、ブスバーの機能回復を図る目的等で洗浄により付着物を除去することとした。洗浄の結果については、4.2節に示したとおり、期待した洗浄効果が得られた。

については、漏えい後、時間を経ずに回収されているため機器への影響はないと考えた。

以上から、固化セル内機器を対象に硝酸影響の有無など個々の健全性を確認するために機器点検を行うこととした。

なお、硝酸の回収については、4.3節の漏えい液の回収と同様に回収した洗浄液等の硝酸濃度により求めることができるが、漏えい液約150L中の硝酸量約180モルに対して、洗浄液等を回収する前の高レベル廃液共用貯槽の硝酸保有量は約6000モルであったことから、回収した硝酸量を正確に評価することができない状況であった。

6.2 機器点検の内容

(1) 機器点検の対象

点検対象については、固化セル内機器(約400機器)で硝酸の影響を受けた可能性のある機器とし、具体的には、ステンレス鋼製以外の部品が含まれる機器、並びに潤滑油を使用している機器で耐硝酸性コーティング、防水構造を有していない機器を対象とした。

この結果、合計218機器を点検対象とした。

(2) 点検方法

硝酸により点検対象機器に要求される機能への影響の有無を確認するた

めに、以下に示す3つの点検方法を組合せて点検を実施した。(添付資料 - 27参照)

- ・外観点検：I T Vカメラで視認可能範囲に有意な損傷、腐食等がないことを確認
- ・絶縁抵抗・導通測定：電気・計装品の絶縁抵抗・線間抵抗を測定し、電氣的機能が健全であることを確認
- ・動作確認(電流測定)：各機器に要求される機能を、実動作で確認

点検対象機器毎の点検内容を添付資料 - 28に示す。

6.3 機器点検の結果と評価

218機器の点検結果を添付資料 - 29に示す。点検の結果、硝酸の影響は、高レベル廃液が漏えいしたエリア近傍に限定されたものではなく、固化セル内全域で潤滑剤を使用している機器駆動部に確認されているが、一方で、硝酸の影響とは関係のない経年劣化と推定されるものも半数を占め、これらを含めて22機器に不具合が認められた。その内訳を以下に示す。

不具合の種類	機器数	推定原因等
機器表面への付着物	7	硝酸の影響により潤滑剤の劣化が進んだと推定。
駆動部の作動不良	3	硝酸の影響により潤滑剤の劣化が進み機能が低下したため、擦動抵抗が増加したと推定。
作動時の電流値高	1	
I T Vカメラ、照明器具の不良	11	漏えい前から発生していた故障と同じ事象であるため、経年劣化と推定。

点検の結果、駆動部に塗布されている潤滑剤に硝酸との反応による付着物の発生(潤滑剤としての劣化)及び潤滑剤の性能低下に伴う擦動抵抗の増加による作動不良が確認された機器については、清掃、潤滑剤の塗布等の処置を行うとともに、必要に応じて部品を予備品に交換して健全な状態に復旧する。また、経年劣化に起因する不具合についても、適宜、部品交換を実施する。一方、電気品・計装品への硝酸影響は確認されなかった。

今後、ガラス溶融炉A系列の熱上げを予定しているが、この熱上げは、ガラス溶融炉A系列の一部損傷の調査(法令報告)の一環でガラス溶融炉A内に落下したレンガの回収を目的としたものである。レンガ回収後には、

ドレンアウトに伴って発生するガラス固化体の取扱いが必要となる。

このガラス溶融炉 A 系列の熱上げ前に、ジブクレーン及びガラスカッタ駆動装置 B 等の一部の機器については復旧していないものが存在するが、以下の理由からガラス溶融炉 A 系列の熱上げに支障はないものと考えている。すなわち、ガラス溶融炉 A 系列の熱上げは炉内の一部損傷の調査の一環として一時的に行うものであること。ガラス固化体を取り扱うジブクレーンは故障時にバックアップとして使用する固化セルパワーマニプレータの使用が可能であり、この固化セルパワーマニプレータは、ホイストの巻き上げ・巻き下げ機構等に救援機能が施されているため安全上の問題はないこと。さらには、その他の機器は、ガラス溶融炉 A 系列の熱上げ時に使用しないことからである。これらについては、これらの機器を必要とするガラス固化施設のアクティブ試験再開までに復旧することとする。

一方、間接加熱装置及び空気作動式調節弁等、一部、熱上げに使用する機器で点検が終了していない機器があるが、これらについては、熱上げ前までに点検を終了させることとする。

また、今回の機器点検において硝酸の影響が確認されていないものであってもガラス固化施設のアクティブ試験開始や竣工後における影響の有無は確認する必要があることから、次節で述べる方針に基づき今後も機器点検を行うこととする。

なお、点検対象外としたステンレス鋼製機器についても、念のため一部の機器について点検を実施したが、問題は確認されなかった。

6.4 硝酸による影響を考慮した今後の対応方針

これまでの点検では、潤滑剤塗布部において硝酸による影響が確認されているが、中長期的な硝酸影響としては、その他ステンレス鋼製以外の部位の腐食や錆等も考えられる。このことから、硝酸の影響を受けた可能性のある機器（218 機器）については、今後以下に示す対応方針で定期的に点検を行うことによりガラス溶融炉の運転に万全を期すこととする。

点検対象機器全数に対して、硝酸影響という視点に立ち、潤滑剤部位、ステンレス鋼製以外の部位、駆動部（曝露部位、焼付け防止処置を行っている部位）を中心にガラス固化施設のアクティブ試験再開までに再度同様の点検を実施し、硝酸影響の有無を確認する。また、今回の点検で健全性を確認した動的機器の一部（冷却ユニット B の電動機）についても、内部開放調査を実施し、電動機内部構成部品（コイル、軸受等）の状況を確認する。

これまで実施した点検の結果、再度実施する点検の結果及び内部開

放調査の結果をもとに、長期的な影響も考慮して機器に対する硝酸の影響を評価する。この評価結果を、竣工後の保守点検の計画（点検内容・頻度等）に反映する。

竣工後の保守点検の計画に基づき実施する設備点検では、作動状況の異常の有無、作動電流の測定・傾向監視及び絶縁抵抗の測定・傾向監視を行い、その結果をその都度保守点検の計画へ反映していく（点検頻度の見直し、機器の交換、予備品の確保等）。

また、長期停止後の運転再開前に潤滑剤を注油するなど日常保全も充実させる。

ＩＴＶカメラや照明については、日常の運転及び保守の中で状況を適宜確認し、予備品の確保等、不具合発生時に速やかな処置が取れる体制を整える。

なお、固化セルパワーマニプレータについては、運転時間が５００時間毎に実施している点検を継続することとする。

7. まとめ

7.1 高レベル廃液の漏えいの対策

これまでに３回発生した高レベル廃液漏えいの原因究明を踏まえ、１、２回目の漏えいに係る対策に以下の対策を追加することにより、高レベル廃液の漏えい事象については十分な再発防止対策が図れたと考えている。

高レベル廃液を閉止フランジ部に移行させないために、高レベル廃液移行の駆動源となっているエアリフトパージ用圧縮空気の吹き込み部に高レベル廃液を接触させないように供給槽内の液位を下げるとともに、エアリフトパージ用圧縮空気流量をさらに低下させる（５Ｌ／ｈ程度）。

仮に液が閉止フランジ部に滞留した場合を想定しても、漏えいしないよう閉止フランジの締め付けトルクを十分に確保する。

7.2 固化セル内の洗浄結果

洗浄効果

一連の洗浄により、洗浄液の放射性物質濃度が固化セルの運転管理上必要な、漏えい液受け皿集液ポットからの採取試料による高レベル廃液漏えいの有無に係る判断に支障がないレベルまで低下したこと、さらには、ブスバーの絶縁性能が所定の値を満足したことから、期待した洗浄効果が得られたと判断した。

漏えい液の回収量

放射性物質の総量を比較する観点から、回収率の評価には回収した洗浄液等に含まれる放射性物質質量と漏えいした高レベル廃液に含まれる全放射性物質質量(Bq)を用いた。分析及び液量の計量の誤差を考慮した上で回収率を計算した結果は約97%(±19%)であった。

回収されなかった一部の放射性物質は固化セル雰囲気に移行するか、或いは機器表面に残留していると考えられるが、高レベル廃液漏えい以降も固化セル換気系は正常に維持されていること、並びに主排気筒からの放出放射線量も検出限界値未満であったことから、環境への放射線影響はなかった。

7.3 固化セル内の機器点検結果及び今後の対応方針

機器点検結果

硝酸の影響を受けた可能性のある機器を点検した結果、硝酸の影響は潤滑剤を使用している機器駆動部に確認されており、清掃・潤滑剤の塗布等により概ね復旧した。一部の機器については、点検・補修を終了していないものがあるが、これまでに実施してきた点検・補修を引き続き継続して行うこととする。

なお、点検・補修の終了していないものについては、これらを必要とする時期(ガラス溶融炉A系列の熱上げ前又はガラス固化施設のアクティブ試験再開前)までに復旧する。

今後の対応方針

点検対象機器全数に対して、硝酸影響という視点に立ち、ガラス固化施設のアクティブ試験再開までに再度同様の点検を実施し、硝酸影響の有無を確認する。

これまで実施した点検の結果と再度実施する点検の結果等をもとに、長期的な影響も考慮して機器に対する硝酸の影響を評価する。この評価結果を竣工後の保守点検の計画(点検内容・頻度等)に反映する。竣工後の保守点検の計画については、硝酸の影響も含め、その都度点検結果を反映することにより改善していくものとする。

以上