

東海再処理施設の安全対策に係る廃止措置計画認可変更申請対応について

令和3年6月3日  
再処理廃止措置技術開発センター

○ 令和3年6月3日 面談の論点

- 資料1 LWTFにおける実証プラント規模試験の実施と硝酸根分解技術の再評価について
- 資料2 工程洗浄の検討状況について
- その他

以上

## LWTFにおける実証プラント規模試験の実施と硝酸根分解技術の再評価について

令和3年6月3日

再処理廃止措置技術開発センター

### 1. 技術的成立性の検証見直しによる実証プラント規模試験の実施について

低放射性廃棄物処理技術開発施設(LWTF)では、セメント固化設備及び硝酸根分解設備の導入に向けピカスケール、工学規模の試験で設計開発を進めてきた。

今回導入するセメント固化設備及び硝酸根分解設備については、東海再処理施設の廃止措置を進めるにあたり、安定運転の観点から必要な対応を明確にし、これまでの開発において確認できていない事項を明らかにするため、技術的成立性の検証を進めてきた。

その結果、長期間運転による不具合の発生の有無や運転裕度の確認等が、セメント固化設備及び硝酸根分解設備の実証プラント規模試験において確認すべき事項として抽出された。抽出された項目については、実設備のコールド試運転期間において確認することとし、設備改造が必要となった場合は許認可手続きを行った上で設備改造を実施する計画としていた。

今回、技術的成立性の検証結果について、更に精査した結果、硝酸根分解設備の分解槽については、分解性能に影響を与える分解槽内の触媒・試薬の攪拌性や均一性がパラメーター調整だけでは必ずしも所定の性能が得られない可能性があり、槽内の構造変更や還元剤供給配管の増設等の改造が生じるリスクを有していること、また、廃液を触媒から分離する際に用いる槽内フィルターに閉塞等の不具合が発生し、改造工事が生じるリスクを有していることが判った。

一方、セメント固化設備及び硝酸根分解設備におけるアンモニア追出し、炭酸ガスによる転換については、原子力施設や一般産業界において実績があり、実証プラント規模試験において確認すべき事項についても設計で確認できる見通しが得られ、改造工事が生じるリスクを有していないことが判った。

このため、分解槽については、上記のリスクを極力低減し、より確実な安定運転を目指すために、予め、実証プラント規模試験を行い、データを取得した上で、実設備の設計に反映することとする。

表-1に実証プラント規模試験における確認項目の選定結果と表-2に実証プラ

ント規模試験で実施する試験項目(案)を示す。

実証プラント規模試験のスケジュールとしては、本年(令和3年度)より設備の設計に着手し、令和4年度から製作を開始、令和5年度から試験を開始する計画で進める。試験と実設備の施工設計は並行して進め、設工認レベルの廃止措置計画変更認可申請は、実証プラント規模試験結果を設計に反映した上で、令和6年度を見込んでいる。

## 2. 硝酸根分解技術の再評価について(補足資料参照)

LWTFに導入する硝酸根分解技術を触媒/還元剤法と決定したのは、平成24年7月である。当時、技術選定にあたっては、LWTF内に設置可能であり、処理実績があること等を条件に、一般産業界における硝酸根分解技術を調査し、汚泥などの大量の二次廃棄物が発生しないことから触媒/還元剤法を採用した。

今回、硝酸根分解技術に対して最近の技術動向を調査し、硝酸根分解技術の導入決定当時の選定結果の再整理を行った。再整理においては、「処理量の実績」、「二次廃棄物発生量」、「設備規模」、「技術成熟度」を評価項目とした。その結果、LWTFに導入する技術としては、一日当たり分解できる硝酸根の実績量が多く、二次廃棄物量の発生が比較的少ないこと、既存のLWTF内に設置可能であること、また技術成熟度が高いことから、現時点で「触媒/還元剤法」を超える有望な技術はないとの結果を得た。

以上

表-1 実証プラント規模試験における確認項目の選定結果(1/4)  
(硝酸根分解設備 分解槽)

今後確認が必要な項目		確認方法及び理由		
		確認方法	理由	
① 生成物を得るための最適操作条件(温度、濃度、流量、圧力等)の確認	実機スケールにおける実証性	(処理性能) 実機スケールにおいて、最適操作条件下で所定の生成物(硝酸根分解率90%以上の水酸化ナトリウム溶液)が得られることを確認する。	実証プラント規模試験により確認	ビーカースケール及び工学規模試験の結果から、実機スケールにおいて所定の性能(硝酸根の分解性能)を満足する見込みが得られているが、実証プラント規模試験において、硝酸根の分解性能を向上させるための攪拌機及び攪拌翼を用いたデータを取得して実設備の設計に反映することで、より確実に実設備の運転を開始できるようにするため。
	システムの制御性・安定性	(攪拌による槽内の均一性) 実機スケールにおいて、分解槽内の処理液、触媒及び還元剤が攪拌により均一に混合できていることを確認する。	実証プラント規模試験により確認	ビーカースケール及び工学規模試験の結果から、実機スケールにおいて所定の性能(攪拌による槽内の均一性)を満足する見込みが得られているが、実証プラント規模試験において、攪拌による槽内の均一性を向上させるための攪拌機、攪拌翼及び分解槽の形状に係るデータを取得して実設備の設計に反映することで、より確実に実設備の運転を開始できるようにするため。
		(槽内液温度の制御性) 実機スケールにおいて、分解槽内の液温が所定の温度に制御できていることを確認する。	実証プラント規模試験により確認	ビーカースケール及び工学規模試験の結果から、実機スケールにおいて所定の性能(槽内液温度の制御性)を満足する見込みが得られているが、実証プラント規模試験において、槽内液温度の制御性を向上させるための分解槽の温度調節用ジャケット、攪拌機及び攪拌翼を用いたデータを取得して実設備の設計に反映することで、より確実に実設備の運転を開始できるようにするため。
② 生成物を得るために影響を与える因子(組成、不純物、温度、濃度、流量、圧力等)を変動させた時の影響確認	条件変動時のプロセス成立性	(条件変動時の処理性能) 実機スケールにおいて、所定の生成物(硝酸根分解率90%以上の水酸化ナトリウム溶液)が得られる条件変動範囲を確認する。	実証プラント規模試験により確認	ビーカースケール試験の結果から、実機スケールにおいて所定の性能(硝酸根の分解性能)を満足する見込みが得られているが、工学規模試験及び実証プラント規模試験において、所定の生成物が得られる条件変動範囲を確認して実設備の設計に反映することで、より確実に実設備の運転を開始できるようにするため。
	取合い設備等を考慮した条件変動時のプロセス成立性	(取合い設備等を考慮した条件変動時の処理性能) 実機スケールにおいて、所定の生成物(硝酸根分解率90%以上の水酸化ナトリウム溶液)が得られる取合い設備等を考慮した条件変動範囲を確認する。	実証プラント規模試験により確認	ビーカースケール試験の結果から、実機スケールにおいて所定の性能(硝酸根の分解性能)を満足する見込みが得られているが、工学規模試験及び実証プラント規模試験において、取合い設備(上流設備のろ過・吸着設備)等を考慮した所定の生成物が得られる条件変動範囲を確認して実設備の設計に反映することで、より確実に実設備の運転を開始できるようにするため。
③ 実設備の材料選定、機器形状等を設定するために必要なデータ取得	対策の有効性確認	(装置の改良点・耐久性) 実機スケールにおいて、装置の改良点がなく、耐久性に係る対策が有効であることを確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	実設備の材料選定は、一般産業界で利用されている試薬の安全データシートや使用条件を基に選定しており、設計で耐久性を十分確認可能であるため。また、工学規模で実施した材料腐食試験にて、耐久性の課題がないことを確認しているため。
④ 不具合(トラブル)が発生せず安定的に連続運転できることの確認	不具合の発生確認	(触媒分離用フィルターの不具合発生確認) 実機スケールにおいて、触媒分離用フィルターが目詰まりせずに処理済液の分離が行えることと、槽内からの廃触媒の抽出が行えることを確認する。	実証プラント規模試験により確認	ビーカースケール及び工学規模試験の結果から、実機スケールにおいて所定の性能(触媒分離用フィルターが目詰まりせずに処理済液の分離が行えること)を満足する見込みが得られているが、実証プラント規模試験において、触媒分離用フィルターを用いたデータを取得して実設備の設計に反映することで、不具合が発生せずにより確実に実設備の運転を開始できるようにするため。
⑤ 保守性の確認	消耗品の劣化予兆の予測と保守が容易に行えること	(消耗品の保守性) 実機スケールにおいて、保守対象の触媒分離用フィルター(目詰まり)に対して、フィルターの目詰まりを解消するための逆洗処理、フィルターの交換が行えることを確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	実設備で使用する触媒分離用フィルター(焼結金属フィルター)は、一般産業界(触媒回収、液体又はガスのろ過等)において使用実績があり、フィルターの逆洗処理やフィルターの交換は一般的に用いられる保守方法であることから、設計で保守性を十分確認可能であるため。
⑥ 異常時(運転上及び安全上)の設備の挙動確認	異常時(運転上)の設備の挙動	(異常時の作動確認) 実機スケールにおいて、異常(停電、機器故障等)を模擬した場合の設備の挙動について確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	実設備における運転上の異常時(停電、機器故障等)を模擬した場合の設備の挙動については、他の放射性物質を扱う施設と同様、停電時に設備内の負圧を維持する排風機以外は運転を停止し、安全な状態を維持するとともに、分解槽内の液温が異常上昇時に還元剤の過剰投入を防止するために還元剤供給バルブを閉止する対応としたものであり、設計で十分確認可能であるため。
	安全上留意すべき事項への対策(ヒドラジンの過剰供給への対策)	(安全上留意すべき事項への対策の有効性) 実機スケールにおいて、ヒドラジンの過剰供給への対策(積算流量計とバルブの二重化)の有効性について確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	実設備における安全上留意すべき事項(ヒドラジンの過剰供給)への対策については、他の放射性物質を扱う施設と同様、ヒドラジンの供給系統に設けた積算流量計とバルブによるインターロックを冗長化(二重化)することにより、単一故障による過剰投入に対する予防措置を強化したものであり、設計で十分確認可能であるため。

表-1 実証プラント規模試験における確認項目の選定結果(2/4)  
(硝酸根分解設備 アンモニア追出槽)

今後確認が必要な項目			確認方法及び理由	
			確認方法	理由
① 生成物を得るための最適操作条件(温度、濃度、流量、圧力等)の確認	実機スケールにおける実証性	(処理性能) 実機スケールにおいて、最適操作条件下で所定の生成物(アンモニア濃度100ppm以下の水酸化ナトリウム溶液)が得られることを確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	一般産業界においてLWTF実設備の処理能力以上の実績があり、実績のあるメーカーへ装置の設計を依頼する計画であるため。また、JAEAにおいてもピーカースケール試験を実施し、所定の性能(アンモニア濃度100 ppm以下の水酸化ナトリウム溶液が得られること)を確認しているため。
	システムの制御性・安定性	(空気供給流量の安定性) 実機スケールにおいて、アンモニアの追出しに必要な空気が所定の流量(気液比)で供給できていることを確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	一般産業界においてLWTF実設備の処理能力以上の実績があり、実績のあるメーカーへ装置の設計を依頼する計画であるため。また、JAEAにおいてもピーカースケール試験を実施し、所定の性能(空気の流量(気液比)が得られること)を確認しているため。
		(槽内液温度の制御性) 実機スケールにおいて、追出槽内の液温度が所定の温度に制御できていることを確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	一般産業界においてLWTF実設備の処理能力以上の実績があり、実績のあるメーカーへ装置の設計を依頼する計画であるため。また、JAEAにおいてもピーカースケール試験を実施し、所定の性能(槽内の液温度が制御できること)を確認しているため。
② 生成物を得るために影響を与える因子(組成、不純物、温度、濃度、流量、圧力等)を変動させた時の影響確認	条件変動時のプロセス成立性	(条件変動時の処理性能) 実機スケールにおいて、所定の生成物(アンモニア濃度100ppm以下の水酸化ナトリウム溶液)が得られる条件変動範囲を確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	一般産業界においてLWTF実設備の処理能力以上の実績があり、アンモニア追出槽における処理条件を考慮した上で、実績のあるメーカーへ装置の設計を依頼する計画であるため。また、JAEAにおいてもピーカースケール試験を実施し、所定の性能(アンモニア濃度100 ppm以下の水酸化ナトリウム溶液が得られること)を確認しているため。
	取合い設備等を踏まえた条件変動時のプロセス成立性	(取合い設備等を考慮した条件変動時の処理性能) 実機スケールにおいて、所定の生成物(アンモニア濃度100ppm以下の水酸化ナトリウム溶液)が得られる取合い設備等を考慮した条件変動範囲を確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	一般産業界においてLWTF実設備の処理能力以上の実績があり、取合い設備(上流機器の分解槽)等から送液される廃液組成を考慮した上で、実績のあるメーカーへ装置の設計を依頼する計画であるため。また、JAEAにおいてもピーカースケール試験を実施し、所定の性能(アンモニア濃度100 ppm以下の水酸化ナトリウム溶液が得られること)を確認しているため。
④ 不具合(トラブル)が発生せず安定的に連続運転できることの確認	不具合の発生確認	(空気流量調節弁の不具合発生確認) 実機スケールにおいて、空気の流量調節弁に異物が混入することなくアンモニアの追出し処理が行えることを確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	実設備で使用する空気流量調節弁は、一般産業界において使用実績があり、異物の混入を防止する機能(プレフィルター等)が一般的に用いられていることから、設計で不具合が発生しないことを十分確認可能であるため。
⑤ 保守性の確認	消耗品の劣化予兆の予測と保守が容易に行えること	(消耗品の保守性) 実機スケールにおいて、保守対象の空気流量調節弁(異物の混入)に対して、異物を除去するための保守、空気流量調節弁の交換が行えることを確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	実設備で使用する空気流量調節弁は、一般産業界において使用実績があり、異物が混入した場合にフランジ接続部で取り外して直接保守する方法は一般的に用いられていることから、設計で保守性を十分確認可能であるため。
⑥ 異常時(運転上及び安全上)の設備の挙動確認	異常時(運転上)の設備の挙動	(異常時の作動確認) 実機スケールにおいて、異常(停電、機器故障等)を模擬した場合の設備の挙動について確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	実設備における運転上の異常時(停電、機器故障等)を模擬した場合の設備の挙動については、他の放射性物質を扱う施設と同様、停電時に設備内の負圧を維持する排風機以外は運転を停止し、安全な状態を維持する対応としたものであり、設計で十分確認可能であるため。

表-1 実証プラント規模試験における確認項目の選定結果(3/4)  
(硝酸根分解設備 転換槽)

今後確認が必要な項目			確認方法及び理由	
			確認方法	理由
① 生成物を得るための最適操作条件(温度、濃度、流量、圧力等)の確認	実機スケールにおける実証性	(処理性能) 実機スケールにおいて、最適操作条件下で所定の生成物(pH 11.5の炭酸ナトリウム溶液)が得られることを確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	一般産業界においてLWTF実設備の処理能力以上の実績があり、実績のあるメーカー製の機器を用いて設備化する計画であるため。また、JAEAにおいてもビーカースケール試験を実施し、所定の性能(pH 11.5の炭酸ナトリウム溶液が得られること)を確認しているため。
	システムの制御性・安定性	(炭酸ガス供給流量の安定性) 実機スケールにおいて、炭酸塩への中和処理に必要な炭酸ガスが所定の流量(気液比)で供給できていることを確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	一般産業界においてLWTF実設備の処理能力以上の実績があり、実績のあるメーカー製の機器を用いて設備化する計画であるため。また、JAEAにおいてもビーカースケール試験を実施し、所定の性能(炭酸ガスの流量(気液比)が得られること)を確認しているため。
② 生成物を得るために影響を与える因子(組成、不純物、温度、濃度、流量、圧力等)を変動させた時の影響確認	条件変動時のプロセス成立性	(条件変動時の処理性能) 実機スケールにおいて、所定の生成物(pH 11.5の炭酸ナトリウム溶液)が得られる条件変動範囲を確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	一般産業界においてLWTF実設備の処理能力以上の実績があり、転換槽における処理条件を考慮した上で、実績のあるメーカー製の機器を用いて設備化する計画であるため。また、JAEAにおいてもビーカースケール試験を実施し、所定の性能(pH 11.5の炭酸ナトリウム溶液が得られること)を確認しているため。
	取合い設備等を考慮した条件変動時のプロセス成立性	(取合い設備等を考慮した条件変動時の処理性能) 実機スケールにおいて、所定の生成物(pH 11.5の炭酸ナトリウム溶液)が得られる取合い設備等を考慮した条件変動範囲を確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	一般産業界においてLWTF実設備の処理能力以上の実績があり、取合い設備(上流機器のアンモニア追出槽)等から送液される廃液組成を考慮した上で、分解実績のあるメーカー製の機器を用いて設備化する計画であるため。また、JAEAにおいてもビーカースケール試験を実施し、所定の性能(pH 11.5の炭酸ナトリウム溶液が得られること)を確認しているため。
④ 不具合(トラブル)が発生せず安定的に連続運転できることの確認	不具合の発生確認	(インラインミキサの不具合発生確認) 実機スケールにおいて、インラインミキサに結晶が析出することなく、炭酸塩への中和処理が行えることを確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	実設備で使用するインラインモニタは、一般産業界(塩素化、紙パルプ漂白液の製造等)において使用実績があり、結晶を析出させることなく中和処理できる条件(気液比)が一般的に用いられていることから、設計で不具合が発生しないことを十分確認可能であるため。
⑤ 保守性の確認	消耗品の劣化予兆の予測と保守が容易に行えること	(消耗品の保守性) 実機スケールにおいて、保守対象のインラインミキサ(結晶の析出)に対して、析出した結晶を除去するための保守、インラインミキサの交換が行えることを確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	実設備で使用するインラインモニタは、一般産業界(塩素化、紙パルプ漂白液の製造等)において使用実績があり、結晶が析出した場合にフランジ接続部で取り外して直接保守する方法は一般的に用いられていることから、設計で保守性を十分確認可能であるため。
⑥ 異常時(運転上及び安全上)の設備の挙動確認	異常時(運転上)の設備の挙動	(異常時の作動確認) 実機スケールにおいて、異常(停電、機器故障等)を模擬した場合の設備の挙動について確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	実設備における運転上の異常時(停電、機器故障等)を模擬した場合の設備の挙動については、他の放射性物質を扱う施設と同様、停電時に設備内の負圧を維持する排風機以外は運転を停止し、安全な状態を維持する対応としたものであり、設計で十分確認可能であるため。
	安全上留意すべき事項への対策(炭酸ガスの過剰供給への対策)	(安全上留意すべき事項への対策の有効性) 実機スケールにおいて、炭酸ガスの過剰供給への対策(処理液のpHが設定値以下になると炭酸ガスの供給が停止する設計)の有効性について確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	実設備における安全上留意すべき事項(炭酸ガスの過剰供給)への対策については、他の放射性物質を扱う施設と同様、処理液のpHが設定値以下になると炭酸ガスの供給が停止するインターロックを設けることにより、過剰供給に対する予防措置を講じたものであり、設計で十分確認可能であるため。

表-1 実証プラント規模試験における確認項目の選定結果(4/4)  
(セメント固化設備)

今後確認が必要な項目			確認方法及び理由	
			確認方法	理由
② 生成物を得るために影響を与える因子(組成、不純物、温度、濃度、流量、圧力等)を変動させた時の影響確認	実廃液の組成変動の考慮	(実廃液の組成変動を考慮した固化範囲確認) 実廃液の液組成を考慮し模擬廃液組成を変動させた場合の影響を確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	工学規模(1/1スケール)での混練試験にて、実廃液に含まれる種々雑多な化学成分がセメント固化反応に及ぼす影響を確認した上で、その結果を反映して実設備の設計を行うため、化学成分による影響を十分確認可能であるため。
④ 不具合(トラブル)が発生せず安定的に連続運転できることの確認	不具合の発生確認	(セメント閉塞対策の有効性確認) 実設備の装置構成と同じ装置(実規模混練試験装置)を用いてセメント閉塞対策の有効性を確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	工学規模(1/1スケール)での混練試験にて、混練試験装置のホッパ及び供給装置を改造して、セメント閉塞への対策の有効性を確認した上で、その結果を反映して実設備の設計を行うため、対策の有効性を十分確認可能であるため。
⑤ 保守性の確認	消耗品の劣化予兆の予測と保守が容易に行えること	(消耗品の保守性) 実機スケールにおいて、保守対象のセメント粉塵回収用フィルタ(目詰まり)に対して、フィルタの交換が行えることを確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	実設備で使用するセメント粉塵回収用フィルタ(バグフィルター)は、一般産業界において使用実績があり、フィルタの交換は一般的に用いられる保守方法であることから、設計で保守性を十分確認可能であるため。
⑥ 異常時(運転上及び安全上)の設備の挙動確認	異常時(運転上)の設備の挙動	(異常時の作動確認) 実機スケールにおいて、異常(停電、機器故障等)を模擬した場合、所定通りに作動することについて確認する。	設計にて対応の上、 実設備のコールド試運転にて確認	混練中停電が発生した場合には、他の放射性廃液をセメント固化する施設と同様、安全側の措置として攪拌翼を切り離し固化体に押し込む対応としたものであり、設計で動作を確認可能であるため。

表-2 実証プラント規模試験で実施する試験項目(案)  
(硝酸根分解設備 分解槽)

実証プラント規模試験における確認項目		試験内容	反映先
<p>① 生成物を得るための最適操作条件(温度、濃度、流量、圧力等)の確認</p>	<p>(処理性能) 実機スケールにおいて、最適操作条件下で所定の生成物(硝酸根分解率90%以上の水酸化ナトリウム溶液)が得られることを確認する。</p> <p>(攪拌による均一性) 実機スケールにおいて、分解槽内の処理液、触媒及び還元剤が攪拌により均一に混合できていることを確認する。</p> <p>(槽内液温度の制御性) 実機スケールにおいて、分解槽内の液温度が所定の温度に制御できていることを確認する。</p>	<p>&lt;これまでに確認したデータ&gt; 実機1/25スケールの工学規模試験において、処理性能、攪拌による均一性、槽内液温度の制御性について、それぞれ確認できている。 ・最適操作条件下で硝酸根分解試験を実施し、所定の生成物(硝酸根分解率90%以上の水酸化ナトリウム溶液)を得ることができること。 ・攪拌時に槽内の上部と底部よりそれぞれ採取したスラリー溶液の触媒濃度から、攪拌機回転数115 min<sup>-1</sup>以上で溶液の均一性を確保できていること。 ・還元剤を1箇所の供給ノズル(液浸位置)から供給し、還元剤が残留せずに処理液中の硝酸根が全量分解(硝酸根分解率100%)できていることから、攪拌による均一性を確保できていること。 ・硝酸根分解処理時の槽内の液温が、温度調整用ジャケットにより所定の温度(80℃)に制御できていること。</p> <p>&lt;試験内容&gt; 実証プラント規模試験において、還元剤を使用せずに分解槽内の処理液と触媒に対して攪拌による均一性を確認する試験(試験1)を実施する。 その後、還元剤を使用して硝酸根分解反応を実施し、分解槽内の液温度が所定の温度に制御できていることを確認する試験(試験2)及び最適操作条件下で所定の生成物(硝酸根分解率90%以上の水酸化ナトリウム溶液)が得られることを確認する試験(試験3)を実施する。 最後に、分解槽に供給する還元剤の供給方法(供給ノズル数)を変動させた場合の攪拌による均一性を確認する試験(試験4)を実施する。</p> <p>&lt;試験条件&gt; 試験1(分解槽内の処理液と触媒に対する攪拌による均一性を確認する。) ・模擬廃液: 4.7 mol/L硝酸ナトリウム溶液 ・触媒添加量: 5 g-metal/L-NaNO<sub>3</sub> ・攪拌機回転数: 5条件 ・採取位置: 2箇所(槽内の上部、底部) ※工学規模試験条件と同一 ※試験結果を基に試験で用いる攪拌機の回転数を設定する。</p> <p>試験2(分解槽内の処理液と触媒の均一性に加えて、槽内の液温度の制御性を確認する。) ・模擬廃液: 4.7 mol/L硝酸ナトリウム溶液 ・廃液温度: 80℃ ・触媒添加量: 5 g-metal/L-NaNO<sub>3</sub> ・温度測定位置: 2箇所(槽内の上部、底部) ※工学規模試験条件と同一</p> <p>試験3(還元剤を供給し、分解槽内で均一に反応が進むことを確認する。) ・模擬廃液: 4.7 mol/L硝酸ナトリウム溶液 ・廃液温度: 80℃ ・触媒添加量: 5 g-metal/L-NaNO<sub>3</sub> ・還元剤添加量: 1.25 mol/mol-NaNO<sub>3</sub> ・還元剤供給速度: 0.2 mol/h・g-metal ・採取位置: 2箇所(槽内の上部、底部) ・温度測定位置: 2箇所(槽内の上部、底部) ※工学規模試験条件と同一</p> <p>試験4(還元剤の供給ノズル数を変更し、均一性及び分解反応への影響を確認する。) ・模擬廃液: 4.7 mol/L硝酸ナトリウム溶液 ・廃液温度: 80℃ ・触媒添加量: 5 g-metal/L-NaNO<sub>3</sub> ・還元剤添加量: 1.25 mol/mol-NaNO<sub>3</sub> ・還元剤供給速度: 0.2 mol/h・g-metal ・還元剤供給ノズル数: 1、2*、4*箇所 ・採取位置: 2箇所(槽内の上部、底部) ・温度測定位置: 2箇所(槽内の上部、底部) ※実設備で用いる還元剤供給速度(*)を除き、工学規模試験条件と同一 ※還元剤供給ノズル数については、試験結果に応じて条件を追加する。</p> <p>試験5(還元剤の供給速度を変更し、均一性及び分解反応への影響を確認する。) ・模擬廃液: 4.7 mol/L硝酸ナトリウム溶液 ・廃液温度: 80℃ ・触媒添加量: 5 g-metal/L-NaNO<sub>3</sub> ・還元剤添加量: 1.25 mol/mol-NaNO<sub>3</sub> ・還元剤供給速度: 0.6* mol/h・g-metal ・還元剤供給ノズル数: 試験4において選定したもの* ・採取位置: 2箇所(槽内の上部、底部) ・温度測定位置: 2箇所(槽内の上部、底部) ※一部を除き(*), 工学規模試験条件と同一</p>	<p>実設備の装置設計 (攪拌機、還元剤供給方法、温度調整用ジャケット)及び 実設備の運転条件 へ反映</p>
<p>② 生成物を得るために影響を与える因子(組成、不純物、温度、濃度、流量、圧力等)を変動させた時の影響確認</p>	<p>(条件変動時の処理性能) 実機スケールにおいて、所定の生成物(硝酸根分解率90%以上の水酸化ナトリウム溶液)が得られる条件変動範囲を確認する。</p> <p>(取合い設備等を考慮した条件変動時の処理性能) 実機スケールにおいて、所定の生成物(硝酸根分解率90%以上の水酸化ナトリウム溶液)が得られる取合い設備等を考慮した条件変動範囲を確認する。</p>	<p>&lt;これまでに確認したデータ&gt; 実機1/25スケールの工学規模試験において、条件を変動した際の影響を確認できていない。</p> <p>&lt;試験内容&gt; 実証プラント規模試験において、取合い設備等による条件を変動させた硝酸根分解試験を実施し、所定の生成物(硝酸根分解率90%以上の水酸化ナトリウム溶液)が得られる条件変動時のプロセス成立範囲を確認する。 そのため、試験5として、運転上想定される誤差及び取合い設備等(上流設備のろ過・吸着設備)による条件(模擬廃液の硝酸ナトリウム濃度、廃液温度、還元剤添加量)をパラメータとした硝酸根分解試験を実施する。</p> <p>&lt;試験条件&gt; 試験6 ・模擬廃液: 4.7、5.2<sup>*1</sup> mol/L硝酸ナトリウム溶液 ・廃液温度: 60<sup>*2</sup>、80℃ ・触媒添加量: 5 g-metal/L-NaNO<sub>3</sub> ・還元剤添加量: 1.13<sup>*3</sup>、1.19<sup>*3</sup>、1.25 mol/mol-NaNO<sub>3</sub> ・還元剤供給速度: 0.2 mol/h・g-metal *1: 分析誤差3%を想定したときに取り得る廃液中の硝酸ナトリウム濃度を加えたもの *2: ビーカースケール試験にて硝酸根の分解率に影響がなかった温度範囲 *3: 分析誤差3%を想定したときに取り得る硝酸根分解率90%、95%に相当する還元剤添加量</p>	<p>実設備の運転条件 へ反映</p>
<p>④ 不具合(トラブル)が発生せず安定的に連続運転できることの確認</p>	<p>(触媒分離用フィルターの不具合発生確認) 実機スケールにおいて、触媒分離用フィルターが目詰まりせずに処理済液の抽出が行えること、槽内からの廃触媒の抽出が行えることを確認する。</p>	<p>&lt;これまでに確認したデータ&gt; 実機1/10スケールの工学規模試験において、触媒分離用フィルターが目詰まりせずに処理済液の抽出しと、槽内からの廃触媒の抽出が行えることを確認できている。</p> <p>&lt;試験内容&gt; 試験は、実設備と同じ処理順となるように、以下の手順で行う。 試験7: 実証プラント規模試験において、硝酸根分解処理後に、触媒分離用フィルターを用いて処理済液の抽出し処理を行い、触媒分離用フィルターが目詰まりせずに抽出し処理が行えることを確認する。 試験8: 処理済液の抽出し処理後に、槽内の触媒の抽出し処理が行えることを確認する。</p> <p>&lt;試験条件&gt;* 試験7、8 ・処理済液: 3.6 mol/L水酸化ナトリウム溶液(硝酸根分解率100%相当) ・触媒添加量: 5 g-metal/L-NaNO<sub>3</sub> *: 実機1/10スケールの工学規模試験装置と同一</p>	<p>実設備の装置設計 (処理済液の抽出処理、廃触媒の抽出処理)へ反映</p>



## LWTF に導入する硝酸根分解技術の再評価について

令和3年6月3日

再処理廃止措置技術開発センター

## 1. 概要

LWTF に導入する硝酸根分解技術を「触媒/還元剤法」と決定したのは、平成 24 年 7 月である。当時、技術選定に当たっては、LWTF 内に設置可能であり、処理実績があること等を条件に、一般産業界における硝酸根分解技術を調査し、汚泥などの大量の二次廃棄物が発生しないことから「触媒/還元剤法」を採用した。

今回、廃止措置計画変更認可申請に対する一部補正を行うに当たり、硝酸根分解技術に対して最近の技術動向を調査し、各技術を定量的に評価することで、硝酸根分解技術の導入決定当時の選定結果の再整理を行った。

## 2. 整理方法

今回、文献調査(データベース: ScienceDirect、キーワード: denitrate 件数: 528 件)及び特許検索(データベース: 特許情報プラットフォーム、キーワード: 「硝酸性窒素分解 該当 190 件」「硝酸分解 該当 35 件」「硝酸性窒素 該当 865 件」 合計: 1090 件)から最新の技術動向を調査した。また、調査で把握した各方法に対して、一般産業界における実績を比較するため、1 日当たりの硝酸根分解量の実績(kg)、廃液 1 m<sup>3</sup> 処理時に発生する二次廃棄物量(kg)、技術成熟度(TRL)により、規格化し定量的に各技術の評価を行った。また、「触媒/還元剤法」を基準として、1 日当たりの硝酸根分解量を同一とした場合の設備規模(設置面積)を概算した上で、LWTF 内への設置の可否について検討を行った。以上を踏まえて、LWTF の硝酸根分解設備に採用するプロセスとしての妥当性を検討した。

## 3. 整理結果(表 1 参照)

文献調査の結果、直接硝酸根を分解する技術は大別すると、「触媒/還元剤法」など化学反応を応用した技術、「生物学的方法」など微生物の作用を応用した技術、「高温高压法」など高温度や高圧力を応用した技術、「次亜塩素酸法」及び「活性水素生成法」など電解法を応用した技術の 4 つの基本技術に分類されることが分かった。

各技術の概要等を表 1 に示す。また、各技術の定量評価の結果を別添 1~5 に各々示す。

➤ 処理量の実績

1日当たりの硝酸根分解量の実績については、「触媒/還元剤法」は約660kg、「生物学的方法」は約270kg、「高温高圧法」は約0.73kg、「次亜塩素酸法」及び「活性水素生成法」は研究開発段階(ピーカースケール段階)の技術であり、1kg未満であった。

➤ 二次廃棄物発生量

硝酸根を含む廃液を1m<sup>3</sup>処理した際の二次廃棄物発生量を調査したところ、「触媒/還元剤法」では、廃触媒が約3kg発生することが分かった。「生物学的方法」では汚泥が約9kg発生し、「高温高圧法」では概ね5年おきに反応装置の交換が必要であることから、これに伴い二次廃棄物が約0.22kg発生することが分かった。また、「次亜塩素酸法」、「活性水素生成法」については研究開発段階にあり、二次廃棄物の発生量を計算出来る程のデータが現状無いことを確認した。

➤ 設備規模

1日当たりの硝酸根分解量を同一と想定し、LWTFに導入した場合の「触媒/還元剤法」の設備規模を基準として、各技術の設備規模(設置面積)を比較したところ、「生物学的方法」については約17倍、「高温高圧法」は約9倍の設置面積が必要となることが分かった。現状「触媒/還元剤法」による設備をLWTFに設置する計画であるが、「高温高圧法」及び「生物学的方法」の設備は既存のLWTF建家内に必要なスペースが確保出来ず設置出来ないため、新たに専用施設を建設する必要があり、現実的ではないことが分かった(「次亜塩素酸法」及び「活性水素生成法」については、データが無く、設置面積は算定不可)。

➤ 技術成熟度(TRL)(別添6参照)

「触媒/還元剤法」は、JAEA人形峠環境技術センターや一般産業で処理実績はあるもののLWTFと同程度の硝酸根濃度での処理実績は無いことから、TRL7~8となった。「生物学的方法」は、一般産業で実機プラント運転が行われているが、高濃度の硝酸根濃度条件では実績が無いため、技術成熟度はTRL7~8となった。「高温高圧法」は、現状、工学試験段階であるため、技術成熟度はTRL6となった。その他の「次亜塩素酸法」及び「活性水素生成法」は、研究開発段階(ピーカースケール段階)の技術であるため、技術成熟度はTRL2となった。

#### 4. まとめ（表 1 参照）

硝酸根分解技術の最新の動向を踏まえ、定量的な評価を行った結果、LWTF に導入する技術としては、1 日当たり分解出来る硝酸根の実績量が多く、二次廃棄物量の発生が比較的少ないこと、既存の LWTF 内に設置可能であること、また技術成熟度が高いことを踏まえて、現時点で「触媒/還元剤法」を超える有望な技術はないとの結果を得た。

以 上

表1 LWTFに導入する硝酸根分解技術の再評価結果

名称	概要	利点	欠点	これまでの実績	LWTF導入に当たっての評価
触媒/還元剤法	貴金属あるいは合金系触媒と還元剤を用いて硝酸イオンを窒素ガスまで還元する。	・高濃度の硝酸ナトリウム溶液を効率よく分解した基礎データが取得されている。	・ <u>処理廃液中の硝酸イオン濃度が高い場合、触媒の寿命が短くなり、年に複数回交換が必要となる。</u> ・副生成物として、アンモニア(NH <sub>3</sub> )が発生する。	・JAEA 人形峠環境技術センターにて硝酸ナトリウム濃度が低い廃液の処理実績あり。 ・研究開発機関、金属加工業、非鉄金属製造業、触媒製造業で実績あり。	・ <u>処理量の実績:硝酸根 約 660 kg/日</u> ・ <u>二次廃棄物発生量:1 m<sup>3</sup>処理当たり廃触媒が約 3 kg</u> ・ <u>設備規模:既存のLWTF 建家内に設置可能</u> ・ <u>技術成熟度:TRL7~8(一般産業及び JAEA 人形峠環境技術センターにて処理実績はあるが、LWTFと同程度の硝酸根濃度での処理実績は無いため。)</u>
生物学的的方法	脱窒菌を用いて排水中の硝酸イオンを窒素ガスへ還元する。	・特殊な装置や試薬(pH 調整用試薬と栄養塩が必要)を用いる必要がなく、 <u>常温・常圧での処理により、安全性に優れる。</u>	・ <u>処理出来る硝酸塩濃度が 0.47 mol/L と低濃度であり、高濃度の硝酸溶液への適用が課題となっている。</u> ・ <u>長期間停止後の処理時に性能低下が生じる場合がある。</u> ・二次廃棄物として汚泥が発生する。	・火力発電所排水処理 ・食品関連排水処理、洗濯排水処理、排水・下水処理	・ <u>処理量の実績:硝酸根 約 270 kg/日</u> ・ <u>二次廃棄物発生量:1 m<sup>3</sup>処理当たり汚泥が約 9 kg</u> ・ <u>設備規模:約 17 倍(触媒/還元剤法と同一の処理量を想定)であり既存のLWTF 建家内に必要なスペースが確保出来ず設置出来ない</u> ・ <u>技術成熟度:TRL7~8(一般産業で実機プラント運転が行われているが、高濃度の硝酸濃度条件では実績が無いため)</u>
高温高压法	超臨界あるいは亜臨界状態の硝酸溶液中において、ギ酸等を還元剤として硝酸イオンを還元分解する。	・ <u>高濃度の硝酸塩溶液(~10 mol/L)に対して、還元剤のみで硝酸イオンを窒素へ還元分解出来る。</u> ・ <u>不純物(有機物、核分裂生成物等)を含有していても分解率が低下しない。</u>	・ <u>高温高压(400℃, 30 MPa)の処理条件が必要になるため、反応容器のスケールアップが容易ではない。</u> ・ <u>反応容器の高温腐食対策が必要となる(材料腐食試験結果から5年に1回反応容器を交換する必要がある)。</u>	・ <u>実績なし。</u>	・ <u>処理量の実績:硝酸根 約 0.73 kg/日</u> ・ <u>二次廃棄物発生量:1 m<sup>3</sup>処理当たり反応装置が約 0.22 kg(概ね5年おきに装置交換を想定)</u> ・ <u>設備規模:約 9 倍(触媒/還元剤法と同一の処理量を想定)であり既存のLWTF 建家内に必要なスペースが確保出来ず設置出来ない</u> ・ <u>技術成熟度:TRL6(工学試験段階であるため)</u>
次亜塩素酸法	硝酸溶液へ塩素イオンを添加し、電解反応と化学反応を組み合わせることで硝酸イオンを窒素ガスとする。	・還元剤や触媒が不要である。 ・高濃度の硝酸イオンを分解出来る。	・塩素イオンが共存するため、腐食の観点でステンレス鋼を用いることが出来ない。 ・副生成物として水素ガス、酸素ガスが発生する。 ・ <u>ビーカースケール試験段階であり、実用化までに期間を要する。</u>	・ <u>実績なし。</u>	・ <u>処理量の実績:硝酸根 約 1 kg 未満/日</u> ・ <u>二次廃棄物発生量:データなし</u> ・ <u>設備規模:データなし</u> ・ <u>技術成熟度:TRL2(ビーカースケール段階の技術であるため)</u>
活性水素生成法	硝酸溶液に対して、膜で隔てた状態で電解溶液を設置する。電解溶液中の水素イオンを水素吸蔵合金の陰極を用いて電解して水素ラジカルとし、これが膜を通り抜けて硝酸溶液側へ移動した後に反応することで、硝酸イオンを還元分解する。	・還元剤や触媒が不要である。 ・副生成物である水素ラジカルは、 <u>水素吸蔵合金に吸蔵される構造であり、水素ガスの気相への放出が抑制される。</u>	・ <u>電極(水素吸蔵合金)の寿命に課題がある。</u> ・ <u>硝酸根分解速度が遅い。</u> ・ <u>ビーカースケール試験段階であり、実用化までに期間を要する。硝酸根分解速度が遅い。</u>	・ <u>実績なし。</u>	・ <u>処理量の実績:硝酸根 約 1 kg 未満/日</u> ・ <u>二次廃棄物発生量:データなし</u> ・ <u>設備規模:データなし</u> ・ <u>技術成熟度:TRL2(ビーカースケール段階の技術であるため)</u>

⇒よって、LWTFに導入する技術としては、1日当たり分解出来る硝酸根の実績量が多く、二次廃棄物量の発生が比較的少ないこと、既存のLWTF内に設置可能であること、また技術成熟度が高いことを踏まえて、「触媒/還元剤法」を超える有望な技術はないとの結果を得た。

# 触媒/還元剤法について

## 1.概要

貴金属あるいは合金系触媒と還元剤を硝酸廃液に投入し、加温・攪拌することで、廃液中の硝酸イオンを窒素ガスまで還元する手法である。

## 2.利点

- ・高濃度の硝酸ナトリウム溶液を効率よく分解した基礎データが取得されている(4.7 mol/L 硝酸ナトリウムに対して、約6 時間かけて、液中の硝酸根を100%分解することが可能)

## 3.欠点

- ・処理廃液中の硝酸イオン濃度が高い場合、触媒の寿命が短くなり、年に複数回交換が必要となる。
- ・副生成物として、アンモニア (NH<sub>3</sub>) が発生する。

## 4.処理量の実績

- ・一般産業において、硝酸イオン濃度22 g/Lの廃液1250 Lを1 時間で処理

※ 一日に処理できる硝酸根量(kg) : 約660 kg  
(実績値から算出した評価値)

- ・JAEA工学規模試験において、硝酸ナトリウム濃度4.7 mol/Lの溶液20 Lを5.9 時間で処理

※ 一日に処理できる硝酸根量(kg) : 約24 kg  
(実績値から算出した評価値)

- ・JAEA人形峠において、硝酸イオン濃度80 g/Lの溶液50 Lを3.5 時間で処理

※ 一日に処理できる硝酸根量(kg) : 約27 kg  
(実績値から算出した評価値)

## 5.設備規模(LWTFに設置する設備)

「約12 m×約3.5 m×高さ約6 m」

「約12 m×約5.0 m×高さ約6 m」  
の2箇所を設置

## 6.必要試薬

- ・還元剤 : 60%水加ヒドラジン  
硝酸ナトリウムの1.25 倍当量
- ・触媒 : 活性炭担持金属コロイド触媒

## 7.二次廃棄物発生量

- ・硝酸イオン分解触媒 約1000 kg/年  
廃液処理量 約400 m<sup>3</sup>/年  
(LWTFにおける設計値)

※ 廃液1 m<sup>3</sup>処理時の二次廃棄物発生量(kg) : 約3 kg

## 8.技術成熟度

TRL7~8

(JAEA 人形峠にて廃液の処理運転実績はあるが、硝酸ナトリウム濃度の低い廃液であったため)



図 工学規模試験装置

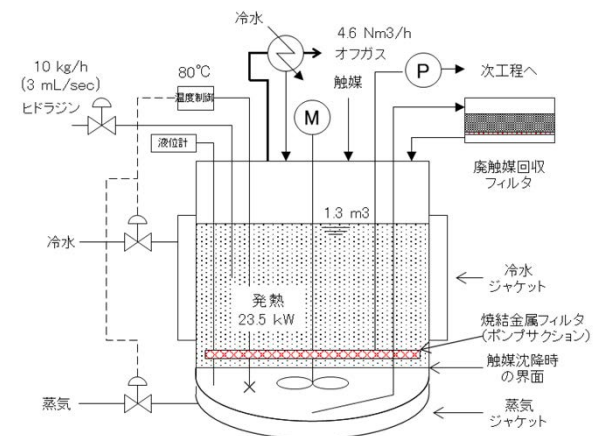


図 硝酸根分解槽概略図 < 12 >

# 生物学的方法について

## 1.概要

再処理施設から発生する硝酸塩廃液の処理技術として、一般産業界で多数の実績を有する生物脱窒法の改良を行い膜分離方式を開発した。本方式は、低コスト、常温常圧での処理が可能、危険な薬品を使用しない、アンモニア等の副生成物の発生が無いという特徴を有する。

## 2.利点

- ・低コストが最大の利点。
- ・常温常圧で処理が可能。
- ・危険物に該当する試薬類の使用が不要。

## 3.欠点

- ・処理速度が遅い。
- ・高濃度の硝酸根濃度条件の分解実績が無い。
- ・二次廃棄物として汚泥が大量に発生する。
- ・長時間停止後の処理時に性能低下が生じる場合がある。

## 4.処理量の実績 ※1

0.47 mol/Lの硝酸ナトリウム溶液(硝酸性窒素 6,700 mg/L)を一日で約9 m<sup>3</sup>処理出来る。

※ 一日に処理出来る硝酸根量(kg) : 約270 kg  
(実績値から推算した評価値)

## 5.設備規模 ※1

約13 m×約6.5 m×20箇所

## 6.必要試薬

有機物含有量が微量な廃液の場合は水素供与体としてメタノールを添加する。

## 7.二次廃棄物発生量

4.7mol/Lの硝酸ナトリウム溶液を1 m<sup>3</sup>処理したとき、汚泥が約9 kg発生する。

## 8.技術成熟度

TRL7~8

(一般産業で実機プラント運転が行われているが、硝酸ナトリウム濃度の低い廃液であったため)

## 9.参考文献

※1 : JAEA-Technology-2008-084 硝酸塩廃液生物処理システム試験

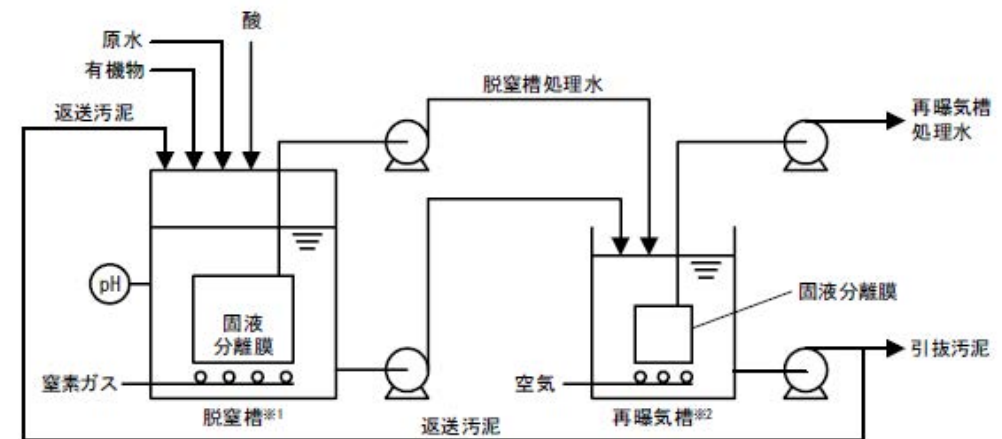


図 生物脱窒試験装置

# 高温高压法について

## 1.概要

高温高压法では、高温、高圧力(例：400℃、30 MPa)の環境下のもと、硝酸塩廃液と還元剤(例:ギ酸)を反応させることにより、硝酸イオンを窒素に分解する方法である。

## 2.利点

- 溶液のpH調整等の前処理が必要ない。
- 少量の溶媒の混入が許容される。
- NO<sub>x</sub>が発生しない。
- ほぼ100%の硝酸根分解率が得られる。

## 3.欠点

- 内部容器が腐食するため、内部容器の定期的な交換が必要。
- 他の方法と比較して設備の設置スペースが比較的大きい。

## 4.処理の実績

硝酸ナトリウム3.5 mol/Lの溶液0.14Lを1時間で処理

※ 一日に処理できる硝酸根量(kg)：約0.73kg  
(実績値から算出した評価値)

## 5.設備規模(概算)

必要配置スペース：約24 m×約40 m×高さ約8 m

## 6.必要試薬

- 88%ギ酸：300 t/年 (硝酸ナトリウムの1.2 倍当量)

## 7.二次廃棄物発生量

- 反応容器の内部容器  
(材質はSUS316L、重量40kg、27基有、5年間で交換と仮定)  
216 kg/年
- ※廃液1 m<sup>3</sup>処理時の二次廃棄物発生量(kg)：約0.22 kg

## 8.技術成熟度

TRL 6

(工学規模(2.6 L)までの試験しか行われていないため)

## 9.参考文献

※：平成 20 年度 文部科学省 原子力システム研究開発事業 将来再処理プロセスでの窒素酸化物クローズドシステム開発 成果報告書

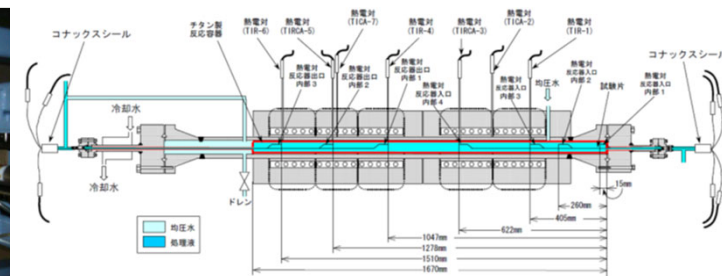
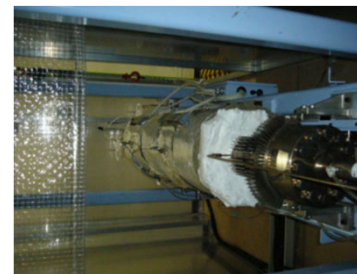


図 工学規模における反応容器の外観写真(左)と構造図(右) ※

# 次亜塩素酸法について

## 1.概要

硝酸溶液へ塩素イオンを添加し、電解反応と化学反応を組み合わせ、硝酸イオンを窒素ガスとする手法である。

## 2.利点

- 還元剤や触媒が不要である。
- 高濃度の硝酸イオンを分解できる。

## 3.欠点

- 塩素イオンが共存するため、腐食の観点でステンレス鋼を用いることができない。
- 副生成物として水素ガス、酸素ガスが発生する。
- 研究開発段階（ビーカースケール段階）であり、実用化までに期間を要する。

## 4.処理量の実績

- 塩化カリウム濃度10 mmol/Lの溶液0.3 L中に共存する3.2 mmol/Lの硝酸カリウムを75分<sup>※1</sup>で処理
- ※一日に処理できる硝酸根量(kg)：約 $1.1 \times 10^{-3}$  kg  
(実験値から算出した評価値)

## 5.設備規模

研究開発段階のため、設備規模（設置面積）は算定不可

## 6.必要試薬

- 塩化物イオン溶液  
(必要であれば緩衝液（リン酸水素二カリウム等）を用いて、電解によりpHが弱アルカリに偏るのを抑制)

## 7.二次廃棄物発生量

- 水素ガス、酸素ガスが発生する。  
(研究開発段階のため、発生量は算定不可)

## 8.技術成熟度

TRL2  
(研究開発段階の技術であるため)

## 9.参考文献

- ※1：三洋電機(株)研究開発本部エコ・エネシステム研究所 広ら、  
電解法による水溶液中の硝酸性窒素の高速除去

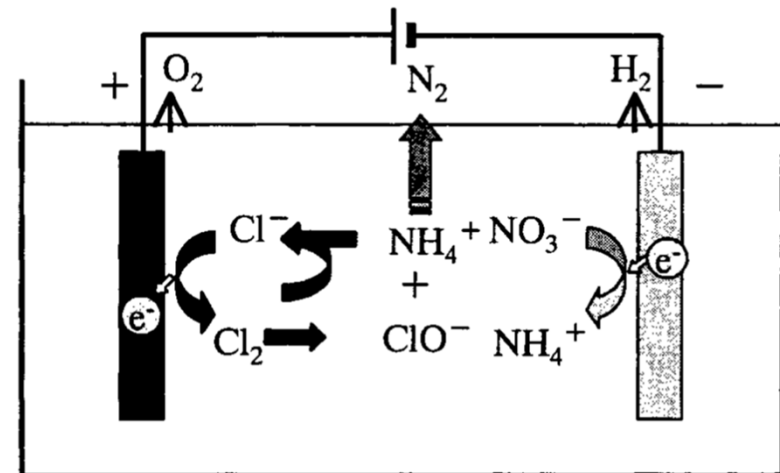


図 次亜塩素酸法反応概要 <sup>※1</sup>



## 1.概要

硝酸溶液に対して、膜で隔てた状態で電解溶液を設置する。電解溶液中の水素イオンを水素吸蔵合金の陰極を用いて電解して水素ラジカルとし、これが膜を通り抜けて硝酸溶液側へ移動した後、これが膜を通り抜けて硝酸溶液側へ移動した後、これに反応することで、硝酸イオンを還元分解する。

## 2.利点

- ・還元剤や触媒が不要である。
- ・副生成物である水素ラジカルは、水素吸蔵合金に吸蔵される構造であり、水素ガスの気相への放出が抑制される。

## 3.欠点

- ・電極（水素吸蔵合金）の寿命に課題がある。
- ・研究開発段階（ビーカースケール段階）であり、実用化までに期間を要する。
- ・研究開発段階であるが、硝酸根分解速度が遅い。

## 4.処理量の実績 ※1

- ・硝酸イオン340 ppmを含む水溶液500 mLを10 時間で処理
- ※一日に処理できる硝酸根量(kg) : 約 $4.0 \times 10^{-4}$  kg  
(実験値から算出した評価値)

## 5.設備規模

研究開発段階のため、設備規模（設置面積）は算定不可

## 6.必要試薬

- ・20% 水酸化ナトリウム水溶液（電解質側）
- ・隔壁兼陰極：パラジウム-銀（23 %）
- ・水素化室内に、 $0.3 \text{ g/m}^2$  に相当するパラジウムを置換めつきしたニッケル製セルメットの充填が必要

## 7.二次廃棄物発生量

- ・アンモニアが発生する。  
(研究開発段階のため、発生量は算定不可)

## 8.技術成熟度

TRL2

(研究開発段階の技術であるため)

## 9.参考文献

- ※1：ペルメレック電極(株)島宗ら、特開平10-195686、水素化方法及び電解槽

- 技術成熟度(TRL: Technology Readiness Levels)とは、新技術・概念の着想段階から実用段階までをいくつかの段階に分け、技術開発の段階を体系的に示す指標である。
- 1980年代よりNASAでの宇宙開発に活用されており(図1)、異なる技術間の成熟度を比較する場合や新技術の成熟度を事前評価する際に用いられる。
- 今回の評価では、GNEPにおけるTRL評価(図2)を参考とし、概念開発段階(TRL1~TRL3)、原理実証段階(TRL4~TRL6)、性能実証段階(TRL7~TRL9)に大きく分け、それぞれの段階を更に3段階に分け、全体で9段階の分類とした。
- 各硝酸根分解技術について公開情報を基に、9段階のうち現状どの段階に当てはまるかを評価した。
- なお、TRL基準を活用しても、技術成熟度の厳密な定量表現ができるわけではないとされている<sup>1)</sup>。

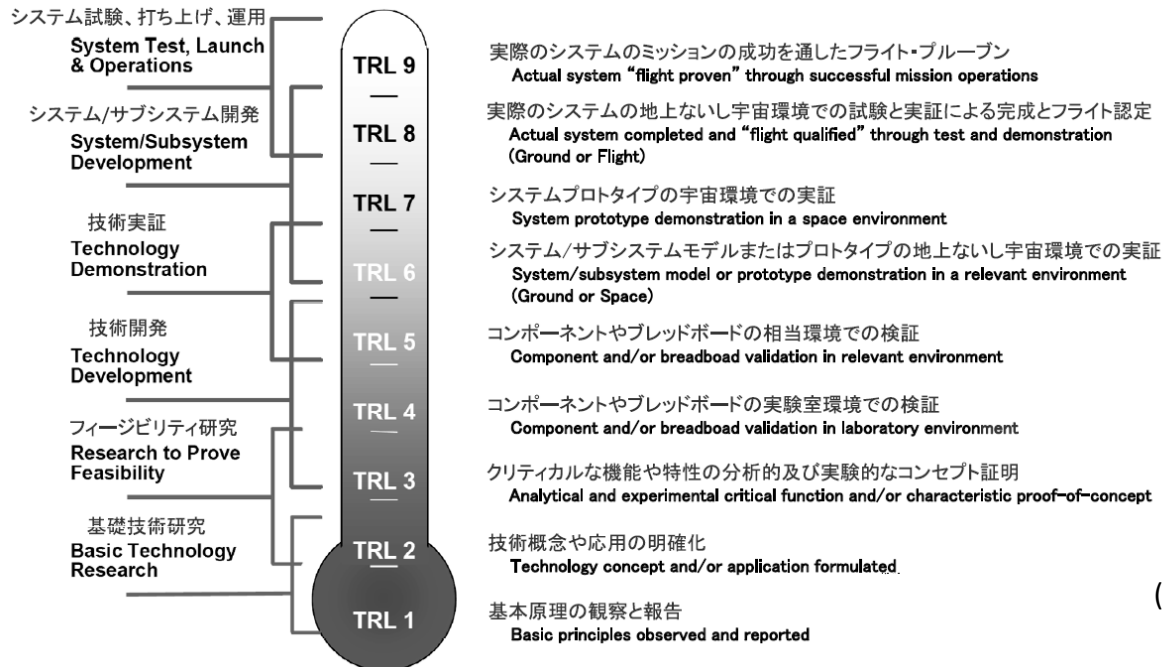


図1 NASAで用いられているTRL<sup>2)</sup>

TRL	開発段階	
9	性能実証段階	実機プラント運転
8		実機プラント試験
7		プロトタイプ試験運転
6	原理実証段階	技術基盤の確立
5		要素技術の完成
4		要素技術の開発
3	概念開発段階	技術開発の活性化
2		技術概念の具体化
1		システム概念の構築

図2 今回の評価で参考にしたTRLの分類<sup>3)</sup>  
(参考文献)

< 17 >

1) 大井田俊彦, 宇宙開発における技術成熟度(TRL)基準の活用, 原子力学会「2010年春の年会」, OV 08, (2010)

2) J. C. Mankins, A WHITE PAPER "Technology Readiness Levels", (NASA, 1995)

3) 「分離変換・MA リサイクル」研究専門委員会, 分離変換技術はどこまで成熟したか?, 日本原子力学会誌, Vol. 52, No. 12 (2010)

## 工程洗浄の検討状況について

令和 3 年 6 月 3 日  
再処理廃止措置技術開発センター

## 1. 経緯

東海再処理施設は、耐震性向上工事を実施するため、2007 年 5 月に再処理運転を中断し、工事終了後には運転再開を予定していたことから工程内には核燃料物質が残存している。新規制基準施行後、リスク低減へ向けた取り組みとして分離精製工場（MP）で保有していたプルトニウム溶液（約  $\text{Pu}$ ）をプルトニウム転換技術開発施設（PCDF）で MOX 粉末化する「プルトニウム溶液の固化・安定化处理（2014 年 4 月から 2016 年 7 月）」により大部分のプルトニウム溶液は MOX 粉末化して安定化したものの、設備の構造上送液残液が発生し、通常の操作では MOX 粉末化できない低濃度のプルトニウム溶液が分離精製工場（MP）に残っている。また、分離精製工場（MP）、ウラン脱硝施設（DN）、プルトニウム転換技術開発施設（PCDF）及び分析所（CB）には、使用済燃料のせん断粉末、ウラン溶液等が残存している（表-1）。

上記の核燃料物質の安定化を行う工程洗浄を実施するための検討状況について、以下に示す。

## 2. 検討方針

分離精製工場（MP）等は、廃止措置計画において、先行して除染・解体等に着手する施設として位置付けており、再処理施設の廃止措置を進めるためにも廃止措置の第 1 段階（解体準備作業期間）として、これら工程に残存する核燃料物質を安定化して施設のリスク低減を行う。

工程洗浄では、ウラン及びプルトニウムの新たな分離抽出は行わず、また、工程で使用する設備は必要最小限とし、リスク低減を念頭に安全かつ可能な限り早期に完了する方法とする。

## 3. 工程洗浄の検討状況

上記の検討方針を踏まえた核燃料物質の安定化の方法の概略を以下に示す（図-1）。

## (1) 使用済燃料のせん断粉末（以下「せん断粉末」という。）等

せん断粉末は、せん断機の周辺に滞留していたものを回収（2016 年 4 月から 2017 年 7 月）し、セル内に保管しているものである。

せん断粉末は、粉末の状態での核燃料物質量の測定が困難であり、高放射性固体廃棄物として廃棄できなく、濃縮ウラン溶解槽にて溶解し、核燃料物質量の計量した後、高放射性廃液貯槽に送り高放射性廃液と合わせてガラス固化処理する。

また、工程内の洗浄液、分析所（CB）の分析試薬等についても高放射性廃液貯槽に送り高放射性廃液と合わせてガラス固化処理する。

なお、せん断粉末の溶解液等は、送液時に抽出器及び高放射性廃液蒸発缶を経由する

が、ウラン及びプルトニウムの分離抽出や溶液濃縮をしない。

## (2) プルトニウム溶液

分離精製工場（MP）には、プルトニウム溶液の固化・安定化处理した際、送液残液として残ったプルトニウム溶液（約  $\text{Pu}$ ）に液量測定が可能な液量まで硝酸を供給（通常の約 100 分の 1 の濃度）した低濃度のプルトニウム溶液と、洗浄廃液のウラン・プルトニウム混合溶液（約  $\text{Pu} + \text{U}$ ）がある。

これらのプルトニウム溶液については、プルトニウム転換技術開発施設（PCDF）で MOX 粉末化を行う方法について検討 <sup>※1</sup>したが、低濃度のプルトニウム溶液の MOX 粉末化には、プルトニウム溶液の移送と濃縮の繰り返しが必要となり、1 年以上の処理期間を要することから、早期のリスク低減とはならない。そのため、プルトニウム溶液は、一部のウラン溶液と混合し、高放射性廃液貯槽に送り高放射性廃液と合わせてガラス固化処理する方法について検討している。

なお、プルトニウム溶液（混合するウラン溶液等を含む。）の扱いについては、原子力委員会を始め関係省庁について確認・調整を図る。

※1 プルトニウム溶液の送液にスチームジェット（蒸気を用いた送液装置）を用いると、温度上昇及び溶液の酸濃度の低下により、プルトニウムポリマーを生成する可能性を否定できなく、臨界安全上の問題となることから、移送経路にスチームジェットがなく通常の移送先であるプルトニウム転換技術開発施設（PCDF）へと送り MOX 粉末化する。なお、使用済燃料の溶解液のようにウラン濃度の高い溶液ではプルトニウムポリマーの生成が抑制される。

## (3) ウラン溶液及びウラン粉末

分離精製工場（MP）及びウラン脱硝施設（DN）には、再処理運転用としてウラン溶液（約  $\text{U}$ ）を、プルトニウム転換技術開発施設（PCDF）には MOX 粉末化の際に残ったウラン溶液（約  $\text{U}$ ）を保有している。また、分離精製工場（MP）では、脱硝運転用のウラン粉末（約  $\text{U}$ ）を三酸化ウラン循環容器に保有している。

ウラン溶液は、保有量が多く高放射性廃液に廃棄することは現実的でなく、粉末化処理時の環境への影響も小さいことから、ウラン溶液（プルトニウム溶液と混合するウラン溶液を除く。）をウラン脱硝施設（DN）の脱硝工程でウラン粉末として安定化し、分離精製工場（MP）のウラン粉末とともに第三ウラン貯蔵所で保管する。

## 4. 工程洗浄の実施期間

上記の方法で実施した場合、それぞれの処理に係る実施期間は、以下を想定している。

- 使用済燃料のせん断粉末の溶解・送液：約 2 か月
- プルトニウム溶液のウラン等との混合・送液：約 3 か月
- ウラン溶液の安定化：約 3 か月

以上

表-1 回収可能核燃料物質の存在場所ごとの保有量（廃止措置計画より）

平成 29 年 6 月 30 日現在

施設	工程名	物質の状態	保有量
分離精製工場 (MP)	せん断	使用済燃料せん断粉末	約  UO <sub>2</sub> (推定)
	溶解 清澄・調整	洗浄液	約 2 m <sup>3</sup> U <sup>*1</sup> 未満 (推定) Pu <sup>*2</sup> 未満 (推定)
	抽出 (酸回収, リワー ク等を含む)	洗浄液	約 11m <sup>3</sup> U <sup>*1</sup> 未満 (推定) Pu <sup>*2</sup> 未満 (推定)
	Pu 濃縮	洗浄液	1 m <sup>3</sup> 未満 約  U <sup>*1</sup> 約  Pu <sup>*2</sup>
	Pu 製品貯蔵 <sup>※3</sup>	プルトニウム溶液	約 1 m <sup>3</sup> 約  Pu <sup>*2</sup>
	U 溶液濃縮・ 試薬調整	ウラン溶液	約 10 m <sup>3</sup> 約  U <sup>*1</sup>
	U 脱硝	ウラン粉末 (貯蔵容器に収納)	3 本 約  U <sup>*1</sup>
ウラン脱硝施設 (DN)	U 濃縮・脱硝	ウラン溶液	約 8 m <sup>3</sup> 約  U <sup>*1</sup>
プルトニウム転換 技術開発施設 (PCDF)	受入・混合 <sup>※4</sup>	ウラン溶液	1 m <sup>3</sup> 未満 約  U <sup>*1</sup>

上記の他、分析所(CB)に分析試料等(約 U<sup>\*1</sup>, 約 Pu<sup>\*2</sup>)が存在する。

これらの核燃料物質については、製品として回収するかまたは放射性廃棄物として取り扱うかについて、工程洗浄の詳細な方法を定める段階で決定し、廃止措置計画の変更申請を行う。

※1 金属ウラン換算

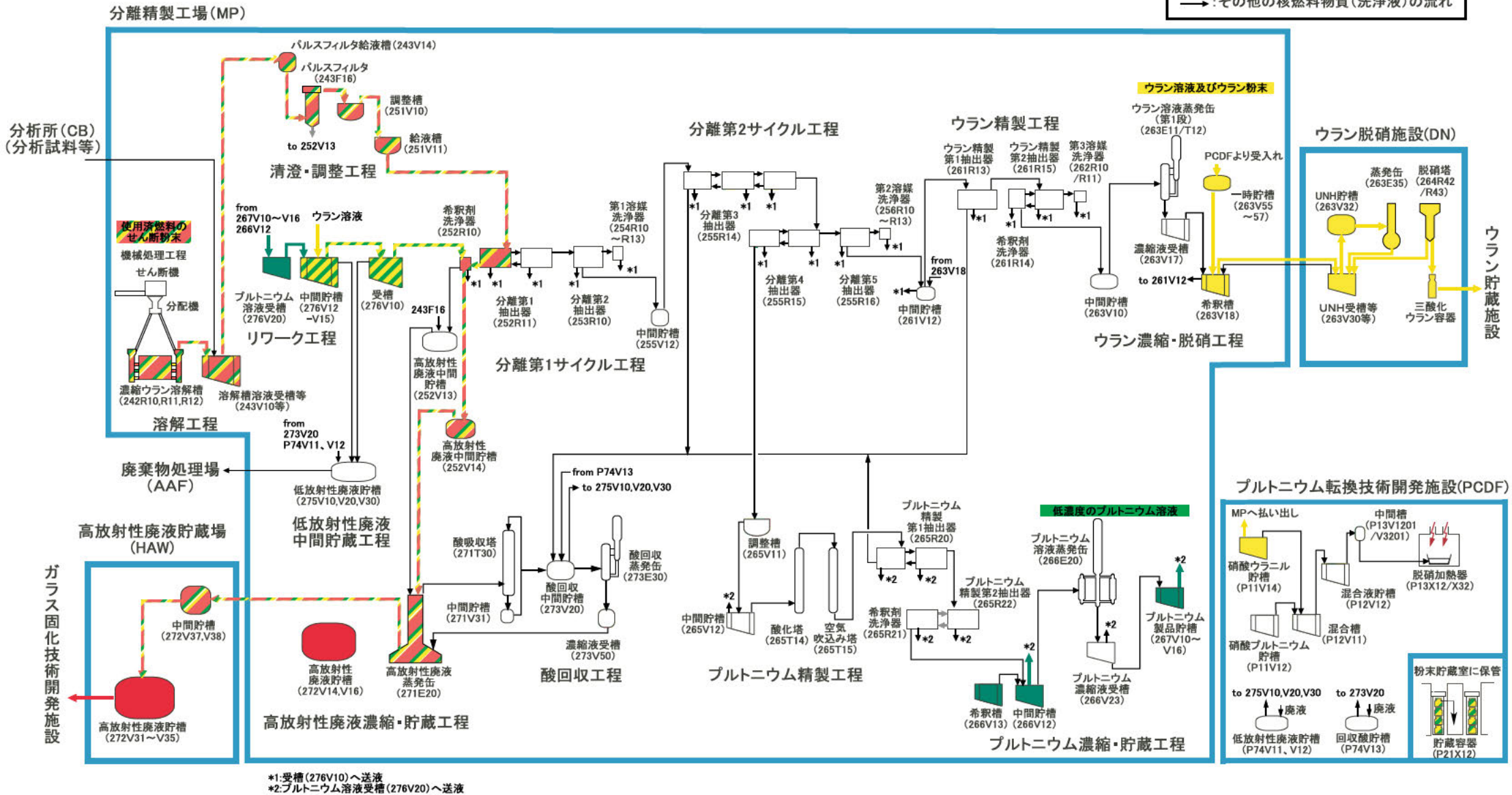
※2 金属プルトニウム換算

※3 施設区分「製品貯蔵施設」

※4 施設区分「その他再処理設備の附属施設」

<凡例>

- : せん断粉末の溶解液の流れ
- : ウラン溶液の流れ
- : プルトニウム溶液の流れ
- : 高放射性廃液等の流れ
- : その他の核燃料物質(洗浄液)の流れ



\*1:受槽(276V10)へ送液  
\*2:プルトニウム溶液受槽(276V20)へ送液

図-1 工程洗浄による核燃料物質等の安定化の概略図(案)

東海再処理施設の安全対策に係る面談スケジュール(案)

令和3年6月3日  
再処理廃止措置技術開発センター

面談項目 (下線:次回変更審査案件)		令和3年									
		6月				7月					8月
		~4日	~11日	~18日	~25日	~2日	~9日	~16日	~23日	~30日	
<b>廃止措置計画変更認可申請に係る事項</b>											
安全対策	津波による 損傷の防止	○TVF浸水防止扉の耐震補強 設計及び工事の計画									
	事故対処	○事故対処設備の 保管場所の整備 (アクセスルートの検討)  ○PCDF斜面補強 (PPフェンス移設を含む) 設計及び工事の計画 (機電設備)									
	内部火災	○代替措置の有効性  ○HAW内部火災対策工事 設計及び工事の計画 ○TVF内部火災対策工事 設計及び工事の計画									
	溢水	○HAW溢水対策工事 設計及び工事の計画 ○TVF溢水対策工事 設計及び工事の計画									
	その他 /工事進捗										
<u>LWTFの計画変更</u>		▽3		▽17		▽1	◇				
<u>工程洗淨</u>		▽3	▽10	▽17	▽24	▽1	◇				
その他		○TVF保管能力増強に係る 一部補正									
<b>廃止措置の状況</b>											
ガラス固化処理の進捗状況											

▽:面談 ◇:監視チーム会合