

「再処理施設高レベル廃液ガラス固化設備の安定運転条件検討結果報告」
について

(案)

平成20年6月30日
原子力安全・保安院

1. はじめに

原子力安全・保安院(以下「当院」という。)は、高レベル廃液ガラス固化設備に係る使用前検査(処理能力に関する性能検査)の実施に際しては、運転性能等に係る試験結果について事業者より報告を受け、必要なデータや条件等が整っていることを確認するため、「アクティブ試験(第3ステップ)の確認結果について」(平成19年7月10日原子力安全・保安院)において、「第5ステップ期間において実施を予定しているガラス固化設備の処理能力の性能検査に先立ち、第5ステップ開始前までに運転性能等に係る試験結果の報告を受け、必要なデータや条件等が整っていることⁱを確認していく」としていた。これを受け、日本原燃株(以下「事業者」という。)から、試験状況報告が本年2月4日に提出されたところである。

当院は、この試験状況報告について、原子力安全・保安部会核燃料サイクル安全小委員会等の意見も聴取しつつ検討を行ったⁱⁱ。この結果、「白金族の影響を考慮し、管理された運転状態が維持されること」について、「見通し」は得られたとしているものの具体性がなく十分でないことから、この「見通し」を着実に実現する必要があるとし、以下の対応を図ることとした。

事業者から提出された本件報告内容も踏まえ、ガラス溶融炉内部の点検及び内部残留物に関する分析等が実施された上で、事業者によりガラス溶融炉運転性能確認試験等を再開するために必要な運転方法が、これまでの運転で得られた知見を踏まえた予防措置に関する検討状況も含め、具体化が図られたことを原子力安全・保安部会「核燃料サイクル安全小委員会」等の意見も聴取しつつ確認していく。
また、高レベル廃液ガラス固化設備に係る使用前検査(処理能力に関する性能検査)を実施する前に、再開後のガラス溶融炉運転性能確認試験等の結果について報告を受け、その内容を確認していく。

この対応方針を受け、本年6月11日、これまでの化学試験等によって得られた知見や運転状況の相違を解析・分析・検討し、運転再開に向けた具体的な運転方法等をと

ⁱ 第3ステップの確認結果においては、第4ステップにおいて事業者が行う試験として以下を掲げ、使用前検査に先立ち、「第5ステップの開始前に運転性能等の事業者による試験結果の報告を受け、必要なデータや条件等が整っていることを確認」することとしていた。

- ・ガラス溶融炉運転性能確認試験(高放射性廃液を用いたガラス固化運転が連続して実施できること)
- ・ガラス固化体取扱運転性能確認試験(ガラス固化体取扱設備の運転が連続して実施できること)
- ・処理能力確認試験(ガラス溶融炉が所定の処理能力(約70l/h)以上で処理できること)

ⁱⁱ 「「再処理施設アクティブ試験(使用済燃料による総合試験)第4ステップにおける高レベル廃液ガラス固化設備の試験状況報告」について」(平成20年2月14日 原子力安全・保安院)

まとめたとして事業者より当院に対し、「再処理施設高レベル廃液ガラス固化設備の安定運転条件検討結果報告」（以下「安定運転条件報告」という。）が提出されたところである。当該報告の概要を別紙に示す。

これを受けて、当院では、原子力安全・保安部会核燃料サイクル小委員会再処理ワーキンググループ（以下「再処理WG」という。）を開催（4月22日、5月16日、6月4日、6月20日、6月24日及び6月26日）するなどして事業者における本件検討の状況について説明を聴取するとともに、4月24日及び25日には、核燃料サイクル安全小委員会（以下「サイクル小委」という。）及び再処理WGの委員により、独立行政法人日本原子力研究開発機構の核燃料サイクル工学研究所再処理技術開発センターにおいて、高レベル廃液のガラス固化を実施している先行施設の試験の状況等について現地調査を実施した。

2. 「安定運転条件報告」に対する当院の評価

2.1 評価の基本的考え方

当院は、本安定運転条件報告の評価に当たって、

- ・事業者が、これまでの運転で得られた知見を踏まえた予防措置に関する検討状況も含めて試験等を再開するために必要な運転方法を具体化していること（運転方法の具体化）
- ・運転方法の具体化に当たり、技術的に不合理な点がないこと（調査・検討の合理性）
- ・具体化された運転方法によって再処理施設の安全が損なわれることがないこと（安全性）

という観点から、サイクル小委、再処理WG及び独立行政法人産業技術総合研究所関西センターの専門家からの意見も聴取しつつ、確認を行った。

なお、当院としては「アクティブ試験（第4ステップ）の確認結果について：平成20年3月18日」において、事業者から2月27日に報告のあった「再処理施設アクティブ試験（使用済燃料による総合試験）経過報告（第4ステップ）」に基づき確認した結果、高レベル廃液ガラス固化設備を含め、閉込め、臨界安全、火災爆発等の再処理施設の基本的な安全上の要求は満たしていることは既に確認済としているところである。

2.2 安全要件等

今回の検討を踏まえた対策及び運転方法は、これまでの高レベル廃液ガラス固化設備に係る安全要件等を損なうものでないことを確認した。

具体的には、安定運転条件報告に示されている「安定した運転状態を維持するための対策」及び「長期的に運転状態を維持するための対策」に係る運転方法並びに「調整液供給設備の設置」及び「模擬ガラスビーズ供給装置の改善」について、本件設備に係る安全要件等に照らし、その内容の確認を行った。（参考：別表及び別図）

2.3 検討体制

本安定運転条件の検討に当たっては、事業者は社内に事業部長を長とする検討委員会

を設置し、さらにその下に6つのワーキンググループを設置して検討が行われた。これらワーキンググループには、化学試験、アクティブ試験に関係し、ガラス溶融炉の運転に知見を有する社員に加え、開発メーカーからは溶融炉設計、モックアップ試験、アクティブ試験に関係し、ガラス溶融炉に対する知見を有する者、独立行政法人日本原子力研究開発機構からは先行施設の開発、運転経験などを有する者の参画を得て行われたことを確認した。

2.4 原因及び対策に関する検討

アクティブ試験におけるガラス溶融炉の運転状態を把握する上で重要な運転指標等を選定し、すべてのバッチ（流下作業の単位）に係る運転データを整理することで、観察された事象（試験後におけるガラス溶融炉内観察の状況や分析等の結果を含む）を抽出し、技術的な検討を経て、原因分析、対策及びその期待される効果について検討が行われていることを確認した。

具体的には、化学試験時、アクティブ試験の計画時、アクティブ試験実績の段階におけるデータ比較等を行うとともに、るつば試験、実験炉試験、小型炉試験、溶融炉解析、熱バランス計算など、それぞれの試験・解析等による活用可能な知見を整理するなどして検討が行われたことを確認した。

2.5 安定運転方法の具体化

本件検討結果を踏まえ、ガラス溶融炉の安定運転の運転指標として、ガラス温度及び気相温度に係る運転目標範囲の設定がなされ、当該運転目標の実現を図るための運転方法として、熱バランス計算を用いて実際の廃液条件における投入電力条件を設定する手順、廃液の調整方法、廃液供給速度の上昇などについて、具体化が図られた。

また、白金族元素の沈降が進展し、炉内状況が悪化した場合などに行う回復運転の方法を定めるとともに、当該回復運転実施の判断や炉内状況の把握に資するため、流下性に係る指標、白金族元素の堆積に係る指標の設定又は改訂が行われ、それらの具体化も図られた。さらに、関連設備の停止などによりガラス溶融炉への廃液供給を停止させる必要が生じた場合（保持運転）における運転方法についても具体化が図られた。

なお、本安定運転条件報告について、ガラス溶融炉運転時の投入電力条件の設定に用いているとしている熱バランス計算を例として掲げるならば、同計算は現時点における評価ではアクティブ試験時の結果を概ね良好にトレースしており、その有用性が期待されるが、運転データの蓄積によって更なる計算モデルの改良やパラメータ類の最適化が図られるべきものである。また、本報告に示されているその他の各種指標、運転パラメータ等についても同様に、安定運転の確立のために更なる最適化と改良の余地を有しているものとする。

3. 試験再開と安定運転状態の確認方法について

上記のとおり、高レベル廃液ガラス固化設備の試験運転再開に必要な運転手順の見直し及び具体化のための手順や方法が示されているものとする。

今後、事業者は本報告に示した検討結果に基づき、安定運転の確立を図る必要がある。

安定運転条件報告においては、今回の検討に基づく運転方法を「運転管理マニュアル」に反映し、改正内容を関係者に周知する」としているが、それらは「日本原燃株式会社における原子力安全の一層の向上を目指した品質保証活動について」ⁱⁱⁱを踏まえて実施されることはもとより、一連の対策を確実に実行する上でも極めて重要な作業である。これらの作業は、事業者において確実に実施されるべきものであり、当院としても必要に応じてこれらの実施状況について確認を行っていく。

また、「安定した運転状態の維持」の確認方法に関し、「連続処理10バッチ+洗浄運転+連続処理6バッチ」等の計画を掲げているが、事業者においてはこれらのバッチ数に関わらず、報告で示した各種のパラメータ確認、対策の妥当性確認を含め、具体化された運転方法を再開される試験運転において確認すべきであるとする。

そのような考え方にに基づき、今後、当院は以下の対応を図ることとする。

- (1) 高レベル廃液ガラス固化設備の試験運転（A系統）を実施し、安定運転条件報告に示す運転方法により、「安定した運転状態の維持」について、同報告に示された対策の妥当性を含めて技術的見地から十分な確認が得られた段階で、その結果について事業者より報告を受ける。
また、「長期に運転状態を維持」については、同報告に示された回復運転への移行判断フロー（流下性低下の判断指標、白金族元素堆積の判断指標）及び回復運転フロー（改善効果の判断指標）を踏まえて試験運転を実施し、技術的見地から十分な確認が得られた段階で、その結果について事業者より報告を受ける。
- (2) 当院は上記（1）の報告を受け、当該報告の内容についてサイクル小委等有識者からの意見も聴取しつつ確認を行う。（なお、報告のあった時点以降、事業者より追加的になされる報告や、当院の検討が終了するまでの間の運転状況又は施設状況についても併せて確認を行う。）
- (3) 上記の確認が得られた後、A系統について使用前検査を開始するとともに、B系統について上記（1）と同様の報告を受ける。
- (4) B系統について上記（3）の報告内容がA系統において確認されたものと同様と認められる場合には、B系統について使用前検査を開始する。なお、B系統について特に必要と認められる場合には、サイクル小委等有識者からの意見も聴取することとする。

4. その他

本安定運転条件報告にも記載のある「低粘性流体」は、モリブデンの化合物などを主成分とするものとされ、アクティブ試験第4ステップの溶融ガラスの流下時（主に流下初期）に見られた現象である。当該現象の成分とするものは、溶融ガラスに比べて粘性が低い（低粘性である）ことから、「低粘性流体」と呼び、ガラス溶融炉の運転中にそうした流下状況が認められたときに「低粘性流体が発生した」と表現されている。この

ⁱⁱⁱ 「日本原燃株式会社における原子力安全の一層の向上を目指した品質保証活動について」（六ヶ所再処理施設総点検に関する検討会（第25回）資料）（平成19年11月16日原子力安全・保安院）

現象は極めて短時間のものであり、溶融ガラス流下時の安全性に問題となるような事象はこれまでのところ認められておらず、当該現象が発生した場合においても溶融ガラスの流下は安全に継続され、ガラス固化体として容器に封入されている。したがって、「低粘性流体」という現象が溶融ガラスの流下時に認められた場合であっても、流下時及び当該ガラス固化体保管に当たっての安全確保に何ら影響はない。

また、今後行われるガラス固化体の地層処分に係る安全性については、原子炉等規制法に基づく安全審査において、処分を行おうとするガラス固化体の仕様に応じ、処分場における放射性物質の漏えい防止策や当該地質の有する放射性物質の閉込め性能等を評価することにより、確認することになるものと考えている。

なお、将来の地層処分や国民への説明責任などの観点から、ガラス固化体の製造者及び処分事業者にあっては、処分に係るガラス固化体の品質及び評価システムについて更なる検討を進めるとともに、ガラス固化体製造時の記録等を適切に録取しておくことが重要である。

さらに、ガラス固化に関する基礎的・基盤的な研究の蓄積は再処理施設の安定運転に必要な不可欠と考えられ、今後の関係機関の一層の取組みが期待される。

5. おわりに

本安定運転条件報告は、上記2. に記したとおり、原因及び対策について技術的に合理的な調査・検討がなされ、高レベル廃液ガラス固化設備の試験運転再開に際し、これらの検討を踏まえた安定運転のための方法について、現時点において可能な限り具体化されており、同設備の試験運転を再開することは差し支えないものとする。

「安定運転条件報告」の概要

1. 事業者の検討体制について

事業者は、本検討を実施するに当たって、独立行政法人日本原子力研究開発機構におけるガラス固化技術の経緯を踏まえ、同機構、開発メーカー等社内外の関係者で組織された内部の検討会を設置して、取り組んできたとしている。

2. 安定運転条件の検討について

事業者は、本検討を進めていくに当たり、以下のステップで実施したとしている。

- (1)アクティブ試験で観察された事象の原因分析
- (2)原因事象に対する要因の分析
- (3)対策の検討及び運転方法の具体化

3. アクティブ試験で観察された事象の原因分析

ガラス溶融炉の運転で重要なパラメータ(指標)である、ガラス温度等について、運転目標や化学試験等過去のデータと比較し、ガラス温度低、流下時間の長期化等の「運転条件事象」と、偏流、糸状ガラスの発生、低粘性流体の発生等の「運転発生事象」を抽出し、分析したとしている。

また、炉内残留物の成分分析の結果、白金族元素の濃度が通常のガラス成分中の含有量よりも10倍程度高いことが確認されたとしている。

なお、ガラス溶融炉内の負圧、流下ガラス重量による流下停止機能は、再処理施設の安全に対して問題は確認されなかったとしている。

そして、「運転条件事象」にかかる要求事項を達成できなかった原因を分析した結果、以下の2点を抽出したとしている。

- (1)仮焼層の形成が不十分・不安定であった
- (2)白金族元素が沈降・堆積した

また、「運転発生事象」については、「運転条件事象」との因果関係の有無について確認した結果、低粘性流体の発生については、運転員の負荷低減^{iv}・廃液供給の継続という観点から改善をすることとしたとしている。

4. 原因事象に対する要因の分析

「仮焼層の形成が不十分・不安定であった」ことについて分析した結果、

- (1)仮焼層における崩壊熱の影響

^{iv} 溶融ガラスの流下時に低粘性流体が発生すると、溶融炉下部とガラス固化体容器を接続する結合装置内の圧力が変動し、その圧力変動を検知して警報(結合装置圧力高高警報)が発報することがある。同警報が発報した場合には、流下ノズルを加熱するコイルの加熱を停止して、溶融炉からの流下を停止させるインターロックが動作することとなり、インターロック動作時には、運転員が状況を確認して異常の有無を点検したのち、異常が認められない場合は復旧操作を行うこととなる。

なお、本警報は溶融炉とガラス固化体容器が結合していない状態での溶融ガラスの誤流下を防止する目的で設置しているものであり、低粘性流体発生の検知を目的としているものではない。

- (2) 廃液中に含まれる硫黄などの微量成分の影響
 - (3) 廃液中の廃棄物濃度の影響
 - (4) 主電極間通電と間接加熱による電力投入バランスの影響
- を要因として抽出している。

なお、硫黄などの微量成分の影響については、アクティブ試験計画時においてガラス溶融炉の運転に影響がないものと判断し、運転に考慮していなかったとしている。

- また、「白金族元素が沈降・堆積した」ことについて分析した結果、
- (1) 白金族元素を炉内に保持した状態での炉底高温運転の影響
 - (2) 白金族元素を炉内に長時間保持することの影響
 - (3) 炉底部の改善措置が不十分な状態での廃液供給再開による影響
 - (4) 仮焼層の溶け込みによる影響
 - (5) 溶融ガラス温度の変動の影響
- を要因として抽出している。

これらの分析を行うに当たり、これまでに得られたデータ等で評価できない場合は、「熱バランス計算」等の解析手法や、「実験炉試験」等によって評価したとしている。

5. 要因に対する対策の検討

事業者は、抽出された各要因についての対策を検討した結果、安定した仮焼層を形成するための対策を施すことで、白金族元素の急激な沈降を抑制でき、安定した運転状態を維持することが可能となるとしている。

また、「白金族元素が沈降・堆積した」ことの要因への対策によって、白金族元素の沈降・堆積を抑制するための管理を適切に行うことができ、長期的な運転状態を維持することが可能となるとしている。

有効性・実行性を踏まえて検討した結果、安定した仮焼層を形成するための対策としては、

- (1) 廃液調整
- (2) 廃液供給速度の上昇
- (3) 投入電力調整

を採用することとしたとしている。

また、長期的に運転状態を維持するための対策としては、

- (1) ガラス溶融炉の回復運転方法の改善
 - (2) ガラス溶融炉の保持運転方法の改善
- を実施するとしている。

なお、これらの対策を施すことにより期待される効果については、「熱バランス計算」等の解析手法や、「実験炉試験」等によって評価したとしている。

6. 低粘性流体の発生に対する要因分析及び対策の検討

「運転発生事象」の一つである「低粘性流体が発生した」ことに対する要因分析及び

対策の検討を行った結果、

(1)不純物（リン酸塩等）の影響

(2)廃液中の微量成分である硫黄の影響

(3)不安定な仮焼層の影響

が考えられるとしている。これらについては、対策として、安定した仮焼層を形成することにより発生が抑制できるとしている。

7．運転方法の具体化

「安定した運転状態を維持するための対策」についての具体的な運転方法として、廃液調整、廃液供給速度の上昇及び投入電力調整の具体的な方法を検討したとしている。この方法については運転管理マニュアルに反映するとしている。なお、投入電力調整を行うに当たっては、「熱バランス計算」により投入電力を設定するとしており、この「熱バランス計算」については、運転実績を反映しながら適宜改良を図っていくとしている。

「長期的に運転状態を維持するための対策」についての具体的な運転方法として、回復運転への移行判断フローの改訂などを行ったとしている。この方法については運転管理マニュアルに反映するとしている。

8．ガラス固化設備の運転再開に向けて

事業者は、これまでに検討した調査結果に基づき、ガラス固化設備の運転再開に向けて、具体的な運転方法を必要な社内の手続きを経た上で運転管理マニュアルに反映するとともに、改正内容を関係者に周知するとしている。

ガラス溶融炉の試験は、この運転管理マニュアルに基づき実施するとともに、当該運転方法の妥当性について確認するとしている。試験の流れとしては、ガラス溶融炉（A系）で確認を行った後に、次にガラス溶融炉（B系）で行うとしている。

「安定した運転状態の維持」の確認については、ガラス温度、白金族元素の管理、アクティブ試験での実績等を考慮し、

- ・連続処理の場合は、10バッチ程度で試験状況を確認した後、洗浄運転し、その後の処理運転（6バッチ程度）で回復状況を確認
- ・連続処理する間に回復運転に移行した場合は、判断指標を確認しながら回復運転を実施し、その後改善効果の確認を行った上で6バッチ程度連続処理を実施

するとしている。

(別表)

対策が安全要件等に与える影響(整理表)

		対策	安全のための機能又は要件等					
			崩壊熱除去	火災・爆発	しゃへい	閉込め	放射性物質の放出量	
設備工程	高レベル廃液貯蔵設備	なし	影響なし	影響なし	影響なし	影響なし	-	
	高レベル廃液ガラス固化設備	廃液の混合・調整	イへ	影響あり 廃液中の崩壊熱が減少	影響あり 廃液の放射線分解が減少	影響あり 廃液中の線源強度が減少	影響あり 硝酸濃度を所定値内に管理	-
		廃液の供給	イロ	影響あり 廃液中の崩壊熱が減少	影響あり 廃液の放射線分解が減少	影響あり 廃液中の線源強度が減少	影響なし	-
		ガラス原料の供給	ニホト	-	-	-	-	-
		ガラス溶融炉	イト	-	-	影響あり 廃液中の線源強度が減少	影響なし	-
		ガラス流下	ニホ	-	-	-	影響なし	-
		ガラス固化体取扱工程	イ	影響なし	-	影響あり 固化体の線源強度が減少	影響なし	-
	ガラス固化体貯蔵設備	イ	影響あり 固化体の崩壊熱が減少	-	影響あり 固化体の線源強度が減少	影響なし	-	
	溶融炉廃ガス処理設備	ホ	-	影響なし	影響なし	影響なし	影響あり 核種の移行量が減少	
	塔槽類廃ガス処理設備	なし	-	影響なし	影響なし	影響なし	影響なし	
	固化セル換気設備	なし	-	-	影響なし	影響なし	影響なし	

< : 対策の凡例 >

(1) 「安定した運転状態を維持するための対策」

イ．廃液調整(調整液の使用)

ロ．廃液供給速度の上昇

ハ．投入電力調整

(2) 「長期的に運転状態を維持するための対策」

ニ．回復運転方法の改善

ホ．保持運転方法の改善

(3) その他

へ．調整液供給設備の設置

ト．模擬ガラスピース供給装置の改善

(別図)

高レベル廃液ガラス固化設備に要求される安全要件等 (概念図)

