

6-4 わが国の再処理（その2）

1. はじめに

エネルギー資源に乏しい日本が、貴重なウラン資源をより有効に利用するために、原子力発電所の使用済燃料から再利用できるウランとプルトニウムを取り出すシステム、これを「再処理」と呼ぶ。再処理によって取り出されるウランやプルトニウムを原子燃料として再び利用すれば、天然ウランを効率よく利用することができることから、再処理は日本のエネルギーをより安定に確保していくうえで大変大きな役割を持っている。

日本原燃㈱六ヶ所再処理工場は、国内初の商業用再処理工場であり、フランスやイギリスにおけるこれまでの経験と日本原子力研究開発機構の運転経験等を踏まえ実用化された技術を導入している。

2. 六ヶ所再処理工場の設計

原子力発電所で使用済みとなった燃料は六ヶ所再処理工場に運ばれ、放射能を弱めるため貯蔵プールに冷却・貯蔵される。使用済燃料の放射能が十分に弱まった後、せん断し、燃料の部分を硝酸で溶かしてウラン、プルトニウム、核分裂生成物に分離する。さらにウラン溶液とプルトニウム溶液を精製、脱硝してウラン酸化物とウラン・プルトニウム混合酸化物の2種類の製品を作る。

再処理工程で生じる核分裂生成物を含む廃液は強い放射能を帯びているため、高レベル放射性廃棄物と呼ばれ、この廃液はガラス原料と混ぜ合わせて、ステンレス製の容器（キャニスター）に流し込み、冷やして固める。（第1図）。

六ヶ所再処理工場では、再処理について豊富な経験を有するフランスの技術を中心に採用している。しかし、イギリス、ドイツならびに日本国内で開発され蓄積されてきた技術に関しても広く検討し、最適なものを採用することとしている（第2図）。

2.1 フランスの技術

前処理、分離、精製等の再処理設備本体の大部分は、世界で最も実績のあるフランスから技術を導入しており、国内外で行った連続式溶解槽やパルスカラム等に関する確認試験では十分実用性の高い技術であることを確認している。

溶解槽については、耐食性に優れたジルコニウムを使用し処理能力が高いことなどから、フランスの技術である連続式溶解槽を採用している。また、処理量が多い場合に臨界管理が容易であることなどから溶媒抽出工程においてパルスカラムを採用している。

2.2 イギリスの技術

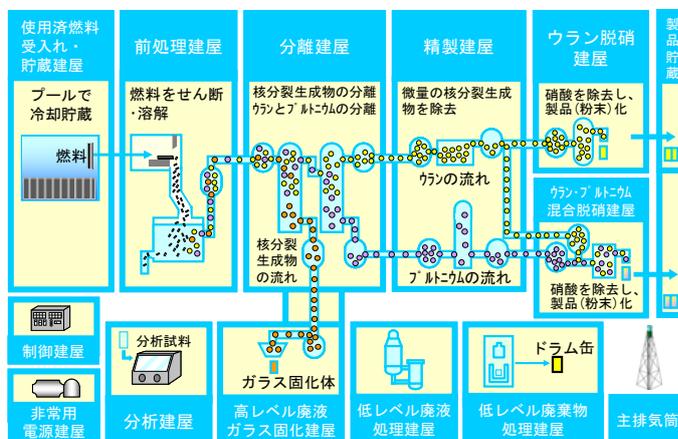
高レベル廃液濃縮缶および酸回収蒸発缶にイギリスの技術である減圧蒸発缶を採用している。この減圧蒸発缶は材料が腐食し難い環境とするため、蒸発させる際に溶液が沸騰する温度を低くし、蒸発缶内を減圧にして運転を行う設備である。フランスの常圧沸騰と比較して腐食環境を緩和するメリットがあるとして、イギリスの技術が採用された。

2.3 ドイツの技術

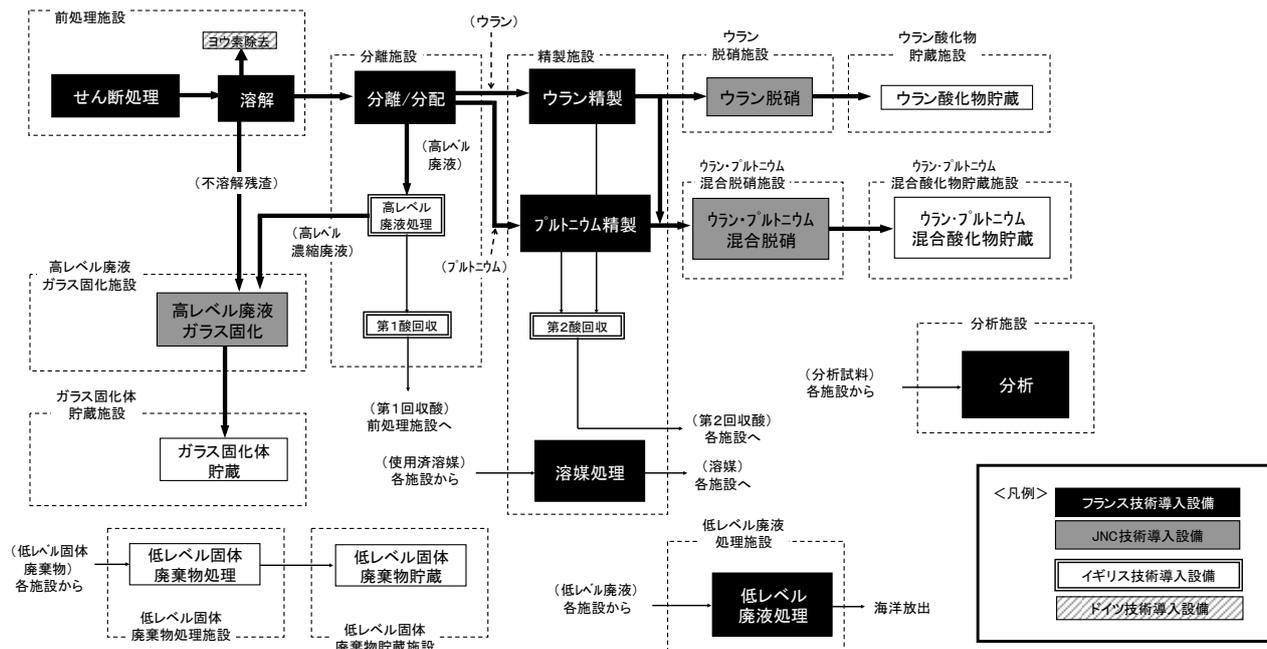
気体廃棄物処理のうち、よう素除去について、ドイツの技術である溶解液中から強制的によう素を追い出し、よう素フィルタでよう素を除去する乾式除去方式を採用している。よう素を除去するには、湿式除去方式と乾式除去方式があり、フランス等はアルカリ洗浄による湿式除去方式であるが、廃棄物の発生量等の観点でメリットがあるとして、ドイツの乾式除去方式が採用された。

2.4 日本国内の技術

ウラン脱硝設備、ウラン・プルトニウム混合脱硝設備および高レベル廃液ガラス固化設備に国内技術を採用している。国内ではウランおよびウランとプルトニウムの混合物を脱硝して貯蔵しているが、フランスではウランは脱硝せず溶液のまま貯蔵し、プルトニウムはウランと混合することなく脱硝して貯蔵するという違いがある。また、高レベル廃液ガラス固化設備に関しては、フランスの技術と比較して、プロセスが簡単であり、寿命が長く堅牢であり、プロセスの大型化が容易な国内技術を採用している。



第1図 六ヶ所再処理工場のしくみ



第2図 六ヶ所再処理工場の施設構成

3. 六ヶ所再処理工場の経緯

これまでの経緯は以下の通りである。

- 1985/04/18 「原子燃料サイクル施設の立地への協力に関する基本協定書」を締結
- 1989/03/30 再処理事業指定申請
- 1992/12/24 再処理事業指定
- 1993/04/28 再処理工場着工
- 1999/12/03 再処理事業の開始
- 2001/04/20 通水作動試験開始
- 2002/11/01 化学試験開始
- 2004/12/21 ウラン試験開始
- 2006/03/31 アクティブ試験開始

六ヶ所再処理工場では、最初から使用済燃料を用いた試験を行うのではなく、「水、水蒸気等」により機器の機能・性能を確認した上で、使用する流体等を「試薬」、「ウラン」、「使用済燃料」の順に実際の取扱物に近づけていくとともに、試験対象を機器単体、系統、施設もしくは建屋、再処理工場全体へと範囲を広げて段階的に試験を進めている。このように段階的に試験を行いながら、安全性および設備の運転操作性、保守性を確認し、不適合等があればその都度修正、改善等の対策を実施し次の試験へ進むこととしている。この段階的試験は、化学物質、核燃料物質等に対する安全上の配慮、設備の保護、効率的な試験の実施および各試験を通じて発生が予想される不適合等の対策の容易性等の理由から取り入れたものである。

段階的試験は、使用する流体等から以下の試験ステップに区分している。

- (1)化学試験
- (2)ウラン試験
- (3)アクティブ試験

上記試験の概要は以下のとおりである。

3.1 化学試験

化学試験では、放射性物質を含まない硝酸、有機溶媒等の試薬等を用いて機器単体および系統の作動確認、ならびに性能確認を行った。さらに複数の系統毎および建屋全体の作動確認を行った。

その結果、各建屋の設備、機器について、その運転性能、制御特性等のデータを取得するとともに、得られたデータの評価から、各設備が良好な運転特性、性能を有することを確認した。また、各建屋の機器、系統について、機器単体から建屋全体および建屋間にわたり、その作動および性能が総じて良好であることを確認した。さらに、各設備、機器について化学試験をとおして確認する安全関連確認事項について、核燃料物質等による災害防止の観点から具備すべき安全機能は確保されていることを確認した。

3.2 ウラン試験

ウラン試験は、劣化ウランを用いたウラン粉末、ウラン溶液および模擬ウラン燃料集合体等を用いて機器・系統の作動確認、性能確認および複数の系統毎ならびに建屋全体の作動確認を行った。

その結果、各建屋におけるウラン試験においては、ウラン溶液等を用いて、再処理設備本体等の性能（せん断・溶解、抽出等の特性、各系統の処理能力等）および各設備の安全性に関する機能を確認した。

再処理工場全体で実施する総合確認試験においては、槽やセルを閉止した後の閉じ込め機能、アクティブ試験における放射性物質濃度の測定に先立って、全建屋を接続した状態で排気筒風量および海洋放出流量を確認し、アクティブ試験に当たっての廃棄能力等を有していることを確認した。

また、アクティブ試験における使用済燃料のせん断に万全を期す目的でせん断機の動作確認を行い、せん断に係る能力が維持されていることを確認した。

3.3 アクティブ試験

アクティブ試験では、使用済燃料を用いて環境への放出放射線量、核分裂生成物の分離性能、ウランとプルトニウムの分配性能、高レベル廃液の処理能力、放射線の遮へい性能、製品の品質および処理能力等の確認を行った。アクティブ試験は、試験の目的から「施設の安全機能および機器、設備の性能確認」と「工場全体の安全機能および運転性能の確認」とに大きく分けられる。「施設の安全機能および機器、設備の性能確認」においては第1ステップから第3ステップに、「工場全体の安全機能および運転性能の確認」においては第4ステップ、第5ステップに分けて試験を実施した。

アクティブ試験第1ステップから第5ステップで既に終了している試験項目の試験結果に基づき総合評価を行い、アクティブ試験全体をとおして、アクティブ試験計画書に定める確認事項を概ね満足する結果が得られており、要求される機能は十分であると評価できることを確認した。また、アクティブ試験における安全関連確認事項の確認結果に基づき総合評価を行い、アクティブ試験を通じて核燃料物質等による災害防止の観点から具備すべき安全機能の確保に支障がないことが確認できたことから、安全機能確保のために試験において確認すべき事項に関しては全て十分な機能を有するものと評価できることを確認した。

2008年2月より第5ステップを実施しており、第5ステップでは、気体・液体廃棄物の放出放射線量、高レベル廃液ガラス固化設備の処理性能等の確認を実施している。現在までに第5ステップで行う試験項目のうち、分離建屋の酸回収設備および高レベル廃液処理設備に係る試験並びに再処理施設全体に係る試験の一部については終了しているが、その他の試験については、高レベル廃液ガラス固化建屋の高レベル廃液ガラス固化設備における試験実施後に終了する予定である。

4. 主なトラブル事象等

4.1 六ヶ所再処理施設の品質保証体制点検

2001年7月に発生した使用済燃料受入れ・貯蔵施設の燃料貯蔵プールにおけるプール水の漏えいの原因は、不適切な施工による計画外の溶接部に発生した貫通欠陥によるものであったことから、使用済燃料受入れ・貯蔵施設および再処理施設本体の同様の設備について点検を行った。その結果、上記漏水箇所以外に多数の計画外溶接や埋込金物の不具合が判明した。日本原燃㈱は、これらの不具合について、施設の建設時に設けた品質保証体制が十分に機能していなかったことによるものと判断したため、改めて再処理施設が設計のとおり健全に建設されているかの確認および品質保証体制の点検を行い、その結果から抽出される改善策を今後の品質保証活動に反映させることとした。

品質保証体制点検は、(1)設備および建物の健全性の確認、及び(2)品質保証体制の自己評価および改善策の策定、の二つの柱からなり、社外の専門家からなる顧問会を設置して助言および評価を受け、さらに第三者審査機関の監査を受けながら進めた。品質保証体制点検の内容は以下の通り。

(1)設備および建物の健全性の確認

42設備、25建屋の約27万基を対象として、書類点検（設計管理、施工・検査管理の確認）や現品点検（品質記録の信頼性・信憑性の確認）を実施した。その結果、設備および建物が健全であることを確認した。

(2)品質保証体制の自己評価および改善策の策定

使用済燃料受入れ・貯蔵施設プール水漏えいに係る不具合について、当時の品質保証体制に関する根本原因分析、設備および建物の健全性の確認から抽出された事項の分析を行った。これらの結果に基づき、品質保証体制の自己評価を行い、改善策を策定した。

品質保証体制の自己評価に当たっては、不具合事象の根本原因分析の結果に「設備および建物の健全性の確認」を踏まえた反省点を加え、品質保証体制における問題点を明確にした。反省点は以下の通り。

- ① 化学安全の観点および不具合発生時の影響（補修の困難さ）を考慮した品質保証上の配慮が十分でなかった。
- ② 施工段階の品質保証の重要性に対する認識が十分でなかった。
- ③ 使用済燃料受入れ・貯蔵施設施工時の人員配置に適正さを欠いていた。
- ④ 協力会社との適切なコミュニケーションを行える体制の確立がなされなかった。
- ⑤ 上記①～④の事項に関して、トップマネジメントの関与が不足していた。

これらの反省点を基に、以下の改善策を策定した。

- ① トップマネジメントによる品質保証の徹底

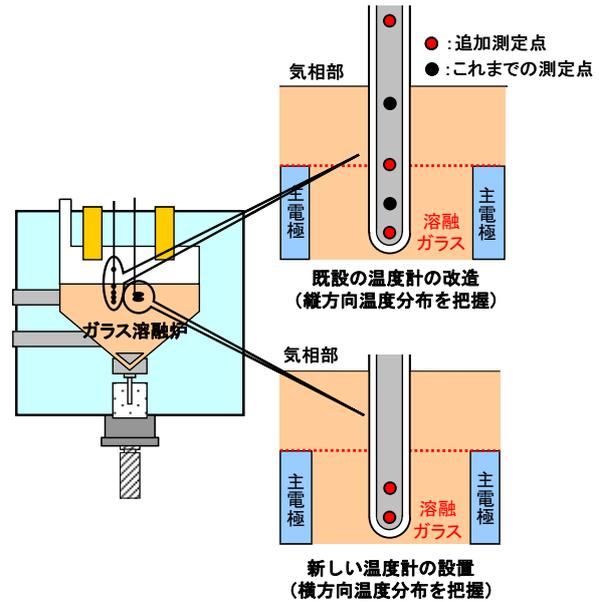
- ② 再処理事業部の品質マネジメントシステムの改善
- ③ 品質保証を重視した人員配置と人材育成
- ④ 協力会社を含めた品質保証活動の徹底

信頼回復の柱として、広く社会、地域の声を聞く広聴活動に重点を置くこととし、経営層が直接、地域の意見や指摘を聞く「地域会議」を設置し、「地域会議」で得られた結果について、社内に設置した「広聴政策会議」で各事業の状況を踏まえながら、経営に生かすよう議論を行うこととした。また、ホームページを一層分かりやすくするとともに、品質保証体制の改善策の実施状況等を積極的に公開している。

4.2 高レベル廃液ガラス固化設備に係る主なトラブル

4.2.1 ガラス熔融炉（A系列）の流下性低下

アクティブ試験の第5ステップとして2008年10月にガラス固化試験を開始したが、不溶解残渣廃液を混合した廃液を供給した後の処理運転において、ガラスの流下性が低下した。そのため、ガラス熔融炉分野の専門家や学識経験者から意見を聴取するとともに、実規模大のガラス熔融炉モックアップ試験施設における模擬廃液を用いた試験を行うなど流下性低下の原因と対策の検討を実施した。試験等の結果から、流下性の低下は、不溶解残渣等を含む廃液を供給した際にガラス温度が上昇したが、温度計がガラス温度を正確に把握できず、適切な電力調整が行われなかったため炉底部の温度が高くなり、白金族が沈降、堆積したことが原因であることがわかった。そのため、ガラスの温度管理や電力調整管理が重要であると考え、第3図のような温度測定点の追加や、定期的な洗浄運転等の改善を図ることにより、ガラス温度等が安定し白金族元素を管理した状態での運転を実施できる見通しが得られた。



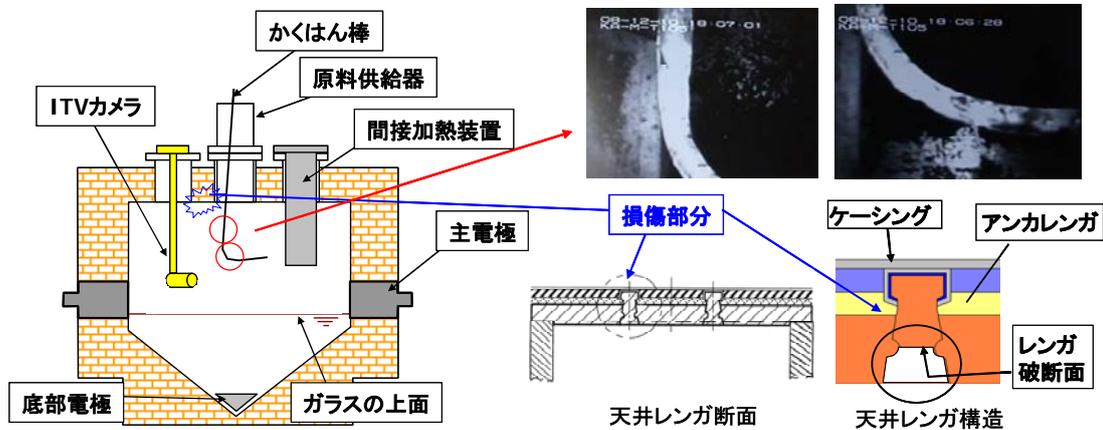
第3図 温度測定点の追加

4.2.2 ガラス熔融炉（A系列）の一部損傷

2008年12月、ガラス熔融炉（A系列）において、かくはん操作後、かくはん棒の引き抜き動作がしづらい状況になった。かくはん棒の状態および熔融炉内部を詳細観察したところ、第4図のようにかくはん棒の曲がりおよびレンガの一部の損傷が確認された。

かくはん棒の曲がり、かくはん棒が斜めになった状態で上部からおもり治具およびパワーマニピュレータで過度の荷重を掛けたことで座屈荷重を超えたことが原因であり、かくはん棒上部からのパワーマニピュレータによる荷重付加を行わないこととした。

天井レンガの一部損傷の原因は、間接加熱装置のヒータ温度降下が急激であったため、その際に発生した応力により、レンガに亀裂が発生し、損傷に至ったためと推定した。そのため、間接加熱装置を停止する際、ヒータ温度の降下速度をゆるやかにすることとした。



第4図 ガラス熔融炉一部損傷

4.2.3 固化セルにおける高レベル廃液の漏えい

固化セルにおける高レベル廃液の漏えいは、これまで2009年1月、2月および10月と3回発生しており、1回目と2回目は高レベル廃液供給配管の閉止フランジからの漏えい、3回目は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。

1回目の漏えいは、エアリフト（圧縮空気により液を移送する機器）に、液が移送されない程度に常時流していた圧縮空気の流量が、通常よりも大きい値になっていたため発生したものと推定した。その対策として、人等の接触により簡単に流量設定が変わらないよう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弁の養生を行った。

2回目の漏えいは、1回目の漏えい復旧時に回収しきれなかった高レベル廃液が配管内に残留していたことにより発生したため、配管内に残留している廃液を回収した。

3回目の漏えいは高レベル廃液が圧縮空気により配管内で発泡し廃液を含む泡が閉止フランジ部に移行したこと等により発生したものと推定された。そのため、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、流量を通常設定値からさらに低下させることにより、廃液の移行防止を確実なものとする事とした。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た。

さらに、固化セルパワーマニピュレータに取り付けられている補助ホイストのチェーンが閉止フランジ把持部に接触（第5図）した際に液が漏えいした原因は、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ことや、インパクトレンチ

について締め付けトルクおよび使用実績に関するデータが管理されていなかったため発生したと推定される。そのため、インパクトレンチを使用する場合は、保守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。また、遠隔操作の際には、機器に接近する前に動作を一旦停止（ホールドポイントを設ける）し、周囲の状況の再確認を行うこととした。

4.3 分析建屋における作業員の放射性物質の内部被ばくに対する改善について

2006年6月24日、分析建屋において分析作業を行っていた作業員の鼻などにα核種による汚染を確認した。バイオアッセイ（排泄物の分析による放射性物質の体内摂取量評価）の結果、放射性物質は検出されず、内部被ばくはなかった。原因の究明に当たって品質保証の観点から事象の原因分析を行った。

事象が発生した際、分析建屋では①試料の受取・前処理、②試料皿の作成・移動、③試料の測定を行っていた。

①の作業において、本来必要な手順である前処理（溶媒洗浄）を実施しておらず、また前処理作業の実施を確認する体制・手順になっていなかった。そして、①の段階で必要な手順が実施されていることを、②の作業側で確認する体制・手順になっていなかった。

②の作業において、放射能が高いことから測定器が数え落とししていたことが原因で測定器の誤表示が起き、基準値を超えた試料をフード外へ持ち出した。

③の作業において、プルトニウム濃度が高いことにより放射性物質がはく離しやすい状態であった試料を開放系で測定していたため、放射性物質が室内の作業環境中に飛散し、放射性物質が分析作業員へ移行した。

これら事象に対する対策は下記の通り。

(1) 管理体制の強化

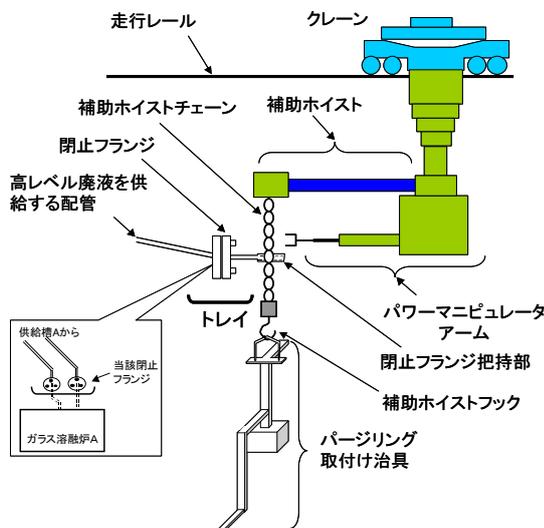
分析作業を種類ごとに区分し、その区分ごとに当社の作業管理者を配置する。そして、確認および作業が手順書どおりに実施されていることの確認などを行い、分析作業の管理体制を強化する。

(2) 教育体制

社員および協力会社の分析員に対し、分析作業の質および技量の向上を目的として教育訓練を実施する。そして教育訓練の定着状況について定期的に確認を行う。また、社員および協力会社の分析員も含め、「技術・技能認定制度」の対象者に対して、それぞれの作業に応じた定期的な試験を実施し、分析員の技能を確実に向上させる。

(3) 作業環境の改善

α核種を含む試料皿に関する測定業務等を行う場合は、半面マスクの常時装着を義務付けるとともに、他の分析作業を行う部屋に入城する際においても、必要な教育等が講じられるまでの間、当面はマスクを着用するこ



第5図 3回目漏えい発生時の様子

ととし、その範囲を明確化する。

(4) 品質保証上の改善

現場作業の改善に関するものは毎月実施している安全パトロールで確認し、教育に関するものは教育実施計画に基づき実施状況を確認する。そしてこれらが品質保証体制に基づき継続的かつ確実に行われていることを、社長が行うマネジメントレビューで確認し、P D C Aを確実にまわしていく。また、社員と協力会社双方の関係者が参加した小集団を設け、メンバー間でヒューマンエラーや内部被ばく等に対する問題点を徹底的に洗い出す。洗い出された問題点については日本原燃(株)全社で改善活動を推進する。

日本原燃株式会社 中村裕行、沢居真澄
(2013年4月15日)