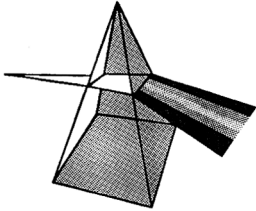


【技術報告】



濃縮ウラン溶解槽からのスラッジ回収装置の開発

永里 良彦 安孫子庄助 田村 梅男
 疋田 敬一 古川 隆之

東海事業所 再処理センター 処理部

資料番号：9-6

Development of Sludge Recovery System from the Enriched U Dissolver

Yoshihiko NAGASATO Shousuke ABIKO
 Umeo TAMURA Keiichi HIKITA Takayuki KOGAWA

Reprocessing Operation Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works

使用済燃料の溶解液には、炉内生成物であるクラッド、Mo、Ru、Rh、Pd等の不溶性の核分裂生成物及び使用済燃料のせん断時に発生する切りくず等が含まれることが知られている。

濃縮ウラン溶解槽内にこれらのスラッジの蓄積が進行した場合、計装設備、送液設備の作動不良等の要因となることから、定期的に濃縮ウラン溶解槽からこれらのスラッジを取り除く必要がある。

濃縮ウラン溶解槽からのスラッジの除去に関して、バキュームクリーナの吸引力を利用したスラッジ回収装置を考案し、これを用いたスラッジ除去作業を行った結果、濃縮ウラン溶解槽から多量のスラッジを回収することに成功した。

スラッジ回収装置は構造が簡単な上、十分な耐久性を有していることから、類似のセル内塔槽類からのスラッジ等の回収作業への適用が期待される。

It is known that the dissolver solution contains crud from the fuel assembly, nonsoluble fission product residues composed of molybdenum, ruthenium, rhodium, and palladium, and zircaloy particles of the zircaloy-clad tubes.

Accumulation of nonsoluble residues, called sludge, in the dissolver causes partial clogging of the air purge tube for measuring of liquid level and density, clogging of the steam jet ejector on the transfer line to the buffer vessel from the dissolver, and many other problems. Therefore accumulated sludge in the dissolver must be removed periodically.

A system to remove sludge from the dissolver was developed, based on the vacuum cleaner.

The sludge recovery system removed a large amount of sludge from the dissolvers.

The sludge recovery system would remove sludge from similar vessels in hot cells.

キーワード

スラッジ回収、濃縮ウラン溶解槽、バキュームクリーナ、遠隔操作

Sludge Recovery, Enriched U Dissolver, Vacuum Cleaner, Remote Control



永里 良彦



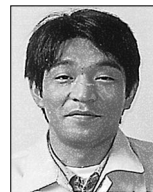
安孫子庄助



田村 梅男



疋田 敬一



古川 隆之

1. はじめに

東海再処理施設には、使用済燃料の溶解を行う濃縮ウラン溶解槽が3基設置されており、前処理工程のせん断機でせん断され小片となった使用済燃料は、濃縮ウラン溶解槽の燃料装荷バスケットに装荷される。溶解は、硝酸を供給しながら蒸気でジャケット方式により加熱することにより、燃料部分のみを浸出溶解する。溶解後の溶液（溶解液）には、炉内生成物であるクラッド、Mo, Ru, Rh, Pd等の不溶性の核分裂生成物及び使用済燃料のせん断時に発生する切りくず等が含まれることが知られている^{1), 2)}。

溶解液に含まれるこれらの不溶性の残渣（以下、スラッジ）の大部分は、各バレル底部に設置されているジルコニウム捕集缶で捕集されるが、溶解液と共に清澄工程へ送られ、パルスフィルタ等により除去されるが、一部のスラッジについては溶解槽内での沈降等により濃縮ウラン溶解槽内に滞留することとなる。

濃縮ウラン溶解槽内へのスラッジの蓄積が進行した場合、液位、密度測定用計装配管の閉塞、液抜き用ジェットポンプ等の作動不良を引き起こす要因となるとともに、溶解反応への影響が考えられることから、スラッジの除去を定期的に行う必要がある。このため、運転停止期間（以下、インターキャンペン）ごとに濃縮ウラン溶解槽内からのスラッジの除去作業を行っている。

濃縮ウラン溶解槽からのスラッジの除去に関しては、従来、濃縮ウラン溶解槽に多量の水を供給し、ポンプを用いて濃縮ウラン溶解槽から吸い上げ、フィルタでろ過を行うという操作を繰返し行う方法（以下、液置換方式）で行っていたが、スラッジの回収効率が低い、結果的に多量の高放射性廃液が発生する等の問題があった。

本報告では、濃縮ウラン溶解槽からのスラッジの除去に関して、堆積しているスラッジに直接アクセスする方法としてバキュームクリーナの吸引力を利用したスラッジ回収装置を考案し、これを用いたスラッジ除去作業を行った結果について示す。

2. 濃縮ウラン溶解槽の概要

2.1 濃縮ウラン溶解槽の構造

濃縮ウラン溶解槽（242R10, R11, R12）は、2バレル - 1スラブ型と呼ばれる溶解槽であり、使用済燃料を受け入れ溶解を行う2本の溶解部（以下、バレル）と溶解液を溜めておく貯液部（以下、スラブ）から構成されており、それぞれ4本の連

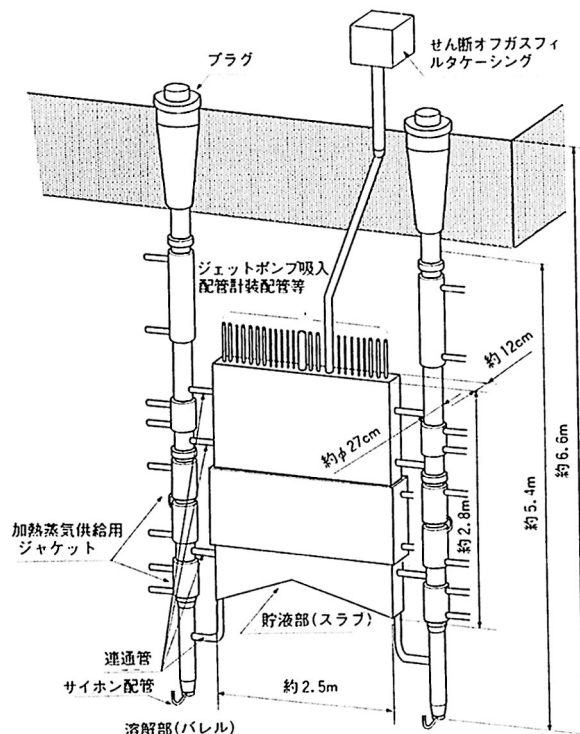


図1 濃縮ウラン溶解槽概要図

通管で接続される構造となっている（図1）。

バレルは内径約27cm、高さ約5.4mの縦型円筒型をしており、外周には加熱蒸気供給用のジャケットが設けられている。また、バレル底部には、溶解槽底部残液を抜き出すためのサイホン用配管（242R12についてはジェットポンプ吸引配管）が設置されている。

スラブは縦約2.8m、横約2.5m、液厚（溶液の入る部分の幅）約12cmの平板型をしており、スラブ内部には液位、密度及び温度測定用の各種計装用配管、液抜き用ジェットポンプの吸入配管等が設置されている。

使用済燃料の溶解は、各バレルに燃料装荷バスケット（3mmの多孔円筒状構造）を設置し、これに小片となった使用済燃料を受け入れて行うが、溶解終了後に残った被覆片（以下、ハル）は、硝酸などで洗浄したのち、バスケットごと濃縮ウラン溶解槽から取り出される。また、各バレル底部には、スラッジを捕集するためのジルコニウム捕集缶（1mmの多孔円筒状構造）が設置されており、一定量の溶解処理ごとに、捕集缶ごと濃縮ウラン溶解槽から取り出している。

2.2 濃縮ウラン溶解槽へのアクセス方法

濃縮ウラン溶解槽は、濃縮ウラン溶解セルに設置されており、濃縮ウラン溶解槽パレル及びスラブ内部へのアクセスは、当該セル上部に位置する濃縮ウラン溶解槽装荷セル（図2）において、パレルについてはプラグ、スラブについてはせん断オフガスフィルタのケーシングを開口して行うことができる。なお、濃縮ウラン溶解槽装荷セルは、高線量当量率下の環境であることから、人が直接入室しての作業は困難であり、濃縮ウラン溶解槽内へのアクセスは、当該セルを介してのセル外からの遠隔操作により行うこととなる。

濃縮ウラン溶解槽装荷セルには遠隔操作が可能のように、鉛ガラス窓、マニプレータ及びセル内外を連絡する貫通孔が設置されている。

3. スラッジ回収装置の概要

3.1 送液機器の選定

東海再処理施設では溶液系の送液機器として、ジェットポンプ、サイホン、エアリフト及びポンプ等を用いている。一方、スラッジ回収装置は、濃縮ウラン溶解槽から固体状のスラッジを直接回収することを目的としており、固体を効率的に輸送する、廃液の発生量を極力減らすという観点から、空気による固体-気体系の輸送方法が有効であると判断し、バキュームクリーナを送液装置として選定した。

なお、バキュームクリーナの選定に当たっては、以下のことを考慮した。

濃縮ウラン溶解槽底部から濃縮ウラン溶解槽装荷セルまでの高さを考慮し、6.6m以上の揚程を有するものであること

バキュームクリーナは、電気式及びエア式（エジェクタ式という）のものがあるが、高線量当量率下のセル内での保守性及び水を取り

扱う環境であることを考慮し、電気式よりもエジェクタ式の方が取扱いが容易であること
セル内作業となることを考慮し、遠隔操作性に係る改良が可能なこと

セル内での使用後は高線量廃棄物となることから廃棄可能な構造、形状であること

3.2 スラッジ回収装置の全体構成

スラッジ回収装置は、バキュームクリーナの吸引機構を搭載している装置本体、スラッジを回収する中間ポット、濃縮ウラン溶解槽内へアクセスするヘッド部及び装置本体に圧縮空気を供給する空気圧縮機、並びにこれらを接続するホース類から構成される（図3）。以下に各構成部位の仕様を示す。

3.3 各部仕様

(1) 装置本体

選定したバキュームクリーナ（三立機器（株）製JET特殊クリーナ、品番A-5）は、汚泥等を回収するために市販されているものであり、吸引機構と汚泥回収部（ドラム形状）が一体となった構造となっている。

吸引機構は、エジェクタ式であり、4つのエジェクタボックスに収納されたエジェクタパイプ（ノズルとディフューザを組み合わせたもの）に圧縮空気を供給することにより、吸引側の流体をけん引吸入する構造となっている。基本性能は以下のとおりである。

吸引性能 : 最大約6.7m水柱

使用空気圧 : 60kPa

排気量 : 約270m³/h

上述のバキュームクリーナに対して、セル内で使用可能のように継手部の遠隔継手への変更、ドラム部の材質をステンレス鋼に変更するなどの改造を行った。また、エジェクタパイプの閉塞防止及びセル内でのスラッジの取扱いを容易にするため、装置本体は吸引機構のみを担い、スラッジの回収は、中間ポットで行うようにした。

装置本体は、廃棄物収納容器（ハルの廃棄用であり、ハル缶という）への廃棄を考慮して外径約58cm、高さ約75cmのドラム形状とし、吸引機構は、パッキンを介して着脱可能な構造とした。

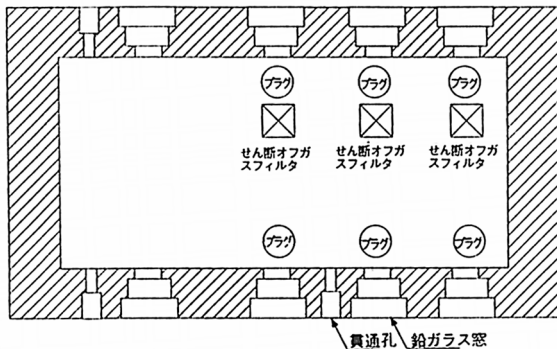


図2 濃縮ウラン溶解槽装荷セル概略図

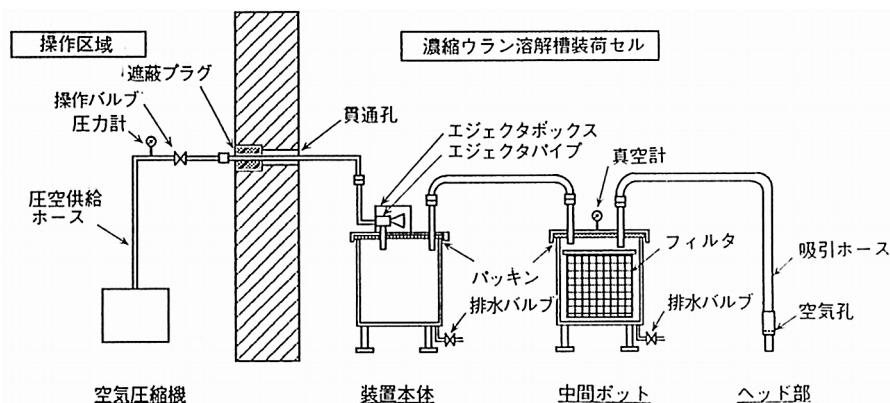


図3 スラッジ回収装置全体構成図

(2) 中間ポット

中間ポットは、装置本体とヘッド部の間に配置し、外径約58cm、高さ約75cmのドラム形状とした。中間ポット内部には、スラッジを捕集するための金属製フィルタ（フィルタ容量約40，フィルタ孔径約200 μ m）を設置しており、フィルタごと中間ポットから遠隔操作で取り出すことができる構造とした。また、中間ポット底部には、水抜き用のバルブを設置した。

(3) ヘッド部

ヘッド部は、濃縮ウラン溶解槽スラブへのアクセスを考慮して、せん断オフガス配管（最大仰角45°、最小径12.8cm）を通過可能な寸法とし、内径約4.5cmの金属製パイプを吸引ホースで接続する構造とした（図4）。

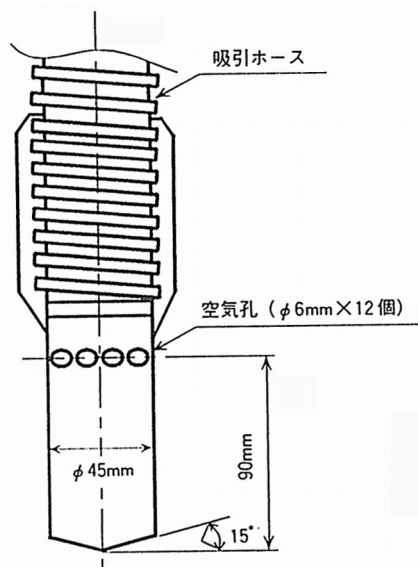


図4 ヘッド部形状

固体 - 気体系の輸送を考える上で基本となるのは、輸送経路での圧力損失に加えて粒子の浮遊速度（=沈降速度）が重要であり、気流中で粒子が輸送されるには浮遊速度以上の気流速度（輸送風速）が必要となる。各種粉体の浮遊速度の例を表1³⁾に示す。また、ベントでの摩擦による圧力損失を加味した粒子の浮遊速度を基準にした輸送風速を表2³⁾に示す。概略検討として、表1の石炭（0～10mm）、表2の「特に複雑な配管」から計算される輸送風速（20～31m/s）をスラッジ回収装置の輸送性能を評価する上での目安とすることとした。

また、濃縮ウラン溶解槽内でのスラッジの蓄積状況によっては、ヘッド部先端が完全に埋没することが予想される。この状態では吸引ホース内での気流が確保されなくなり、空気による固体 - 気体系の輸送が困難となる。したがって、ヘッド部が埋没した場合においても吸引ホース内での気流が確保されるようヘッド部に空気孔を設けた。模擬スラッジ（砂、金属片、水の混合物）を用いて空気孔の設置個数をパラメータとしたスラッジ吸引試験を行った結果（表3）から、模擬スラッジの吸引回収量が最も多い条件として6mmの孔を12個設置した。なお、この場合のヘッド部先端における空気吸入流速は24～27m/s程度であり、上述の目安の輸送風速を満足するものであった。

(4) 空気圧縮機等

装置本体吸引機構への圧縮空気の供給は、濃縮ウラン溶解槽装荷セル外から空気圧縮機を用いて行う。空気圧縮機（日立油冷式スクルー圧縮機、HISCREWシリーズ、形式OSP-37E5AR）は、吸引機構での使用空気圧（60kPa）、空気圧縮機から吸引機構までの圧縮空気供給ホースの仕様（内径38mm、長さ約50m）に応じた圧力損失等

表1 空気輸送されるいろいろな粒子の比重量と浮遊速度¹⁾

物質名	大きさ	比重量 (kg/m ³)	浮遊速度 (m/s)
からす麦	1.4mm	1300	5.5~6.0
木屑	0.5~0.8mm	-	1.5~2.0
微粉炭	0.09mm	-	0.28
石炭	1~10mm	1300	7.8
コークス	5~10mm	1700	13~23
小石	30~40mm	2600	27

*) 文献 3) からの抜粋

表2 粒子の浮遊速度を基準にした輸送風速の選び方⁴⁾

配管	速度比 (輸送風速/浮遊速度)
水平配管のみ	1.8~2.0
ベント 1 個と上昇配管を含む	2.2
ベント 2 個と上昇配管を含む	2.4~2.6
特に複雑な配管	2.6~4.0

*) 文献 3) からの抜粋

表3 空気孔に対するスラッジ回収性能の比較試験結果

ヘッド部先端形状	空気孔 個数	模擬スラッジ吸引回収量			判定
		水(cm ³)	金属片(個)	砂(cm ³)	
	20	730	0	130	◎
	12	1700	37	810	
	6	1200	12	480	

を考慮して選定した。また、セル内外の取合いは、既設のセル内外を連絡する貫通孔に専用の遮蔽プラグを設置し、圧縮空気の供給、停止はセル外での操作バルブ等で操作可能なようにした。

4. モックアップ試験

4.1 モックアップ試験の概要

スラッジ回収装置を用いた濃縮ウラン溶解槽からのスラッジ回収作業を行う前に、実際の濃縮ウラン溶解槽を模擬した試験装置（以下、模擬溶解槽）を用いて、スラッジ回収装置の性能（スラッジの回収能力、吸引範囲）及び操作手順等に関する確認試験（以下、モックアップ試験）を行った。

模擬溶解槽は、濃縮ウラン溶解槽のスラブ、パネル及びせん断オフガス配管の形状を模擬しており、スラッジ回収装置は、濃縮ウラン溶解槽底部からの高さ方向を模擬して、模擬溶解槽の上部に配置するようにした。また、模擬溶解槽の一部は、試験状況の確認が行えるようアクリルで制作した。モックアップ試験の実施状況を図5に示す。

模擬スラッジは、文献²⁾等を参考に砂を主成分とし、これに3mm角の金属片及びハルを模擬する

ものとして内径約1cm、長さ約3cmの金属製パイプを水で混合したものを使用した。

4.2 モックアップ試験の結果

模擬溶解槽を用いてスラッジ回収装置のモックアップ試験を行った結果、装置性能等について以下のことを確認した。

模擬スラッジは模擬溶解槽底部から中間ポットまで確実に移送される。

ヘッド部先端がアクセスできる範囲の模擬スラッジは、ハルを模擬した金属製パイプを含めてすべて回収可能である（図6）。

ヘッド部先端が直接アクセスできない範囲の模擬スラッジに対しては、別途、高圧水を噴射することにより、模擬スラッジの流動化によるスラッジの回収が可能となり、高圧水噴射との併用がスラッジ回収装置による吸引範囲の拡大の観点から有効である。なお、水の有無によるスラッジ回収装置の吸引性能への影響はない。

5. スラッジ回収装置を用いたスラッジ回収作業

モックアップ試験により、スラッジ回収装置の性能等が確認されたため、スラッジ回収装置を用いた実際の濃縮ウラン溶解槽内からのスラッジ除去作業を1995年度のインターキャンペーンから開始した。

5.1 準備作業

(1) 機器類の配置

装置本体、中間ポット及びヘッド部等は、濃縮ウラン溶解槽装荷セル内に搬入・配置し、遮蔽プラグは、セル内外を連絡する貫通孔に配置した。



図5 モックアップ試験の実施状況



図6 模擬溶解槽からのスラッジの回収状況

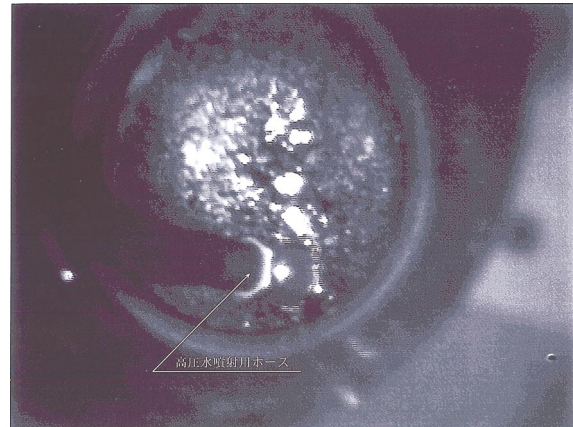


図7 溶解槽内の状況(スラッジ回収作業前)

また、セル外に空気圧縮機等を配置した。

(2) 作業マニュアル作成

モックアップ試験により、スラッジ回収装置の運転は高圧水噴射との併用が有効であることが確認されたため、スラッジの回収作業は、高圧水噴射（噴射圧力約10MPa、流量約20 /min）とスラッジ回収装置の運転を交互に行うような作業手順とした。

また、スラッジ回収装置の排気は、濃縮ウラン溶解槽装荷セル内に排出されることになるため、運転時における負圧の変動を事前に評価した。その結果、当該セルの仕様（容積約370m³、換気量約2,240m³/h、セル差圧約0.3kPa）等から負圧は確保され得ると判断されたが、作業時の安全をより確実なものとするため、作業中は当該セルの負圧について常時監視を行うこととした。

5.2 スラッジ回収作業

1995年度におけるスラッジ回収作業前の濃縮ウラン溶解槽内の状況を図7に示す。これは、濃縮ウラン溶解槽(242R12)のジルコニウム捕集缶を引き上げたのちのパレル底部について、耐放射線性の工業用カメラにより撮影したものであり、スラッジが堆積していることが確認された。なお、当該パレル底部に堆積しているスラッジの量は、機器の構造図等から約2～3程度と推定された。

作業マニュアルに基づいてスラッジ回収装置を用いたスラッジ回収作業を行った結果、図8に示すように、溶解槽パレル底部に設置されている目皿(242R12にジェットポンプの閉塞防止を目的として設置されている)が明確に確認されるまでスラッジを除去することができた。

他溶解槽(242R10, R11)についてもジルコニ

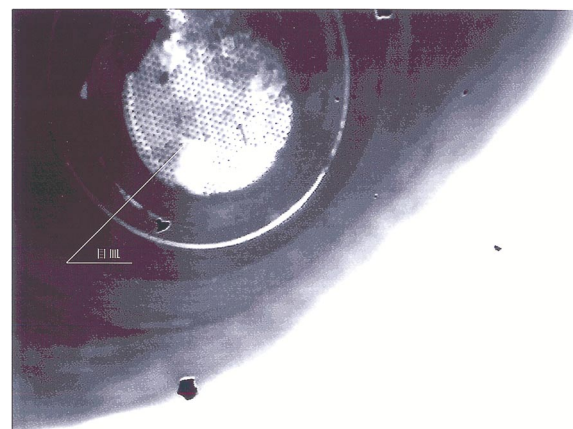


図8 溶解槽内の状況(スラッジ回収作業後)

ウム捕集缶を引き上げた後、各パレル底部からのスラッジ回収作業を行った。また、スラブについても、各せん断オフガス配管を通じてスラブ内にアクセスし、スラッジの回収作業を行った。

5.3 評価

(1) スラッジ回収性能

1995年度におけるスラッジ回収作業終了後の中間ポットでのスラッジ回収状況を図9に示す。回収したスラッジは、一部金属光沢を有するものであり、そのほとんどは砂状のものであった。また、3基の濃縮ウラン溶解槽のパレル及びスラブからのスラッジの回収量はフィルタ容量から推定して合計約30程度であり、この中にはハルと思われるパイプ状のものが12本含まれていた。1995年度以降、インターキャンペーンごとにスラッジ回収装置を用いたスラッジ回収作業を行っており、各インターキャンペーン時のスラッジ等の回収実績を表4に示す。また、表4には比較のため液置換方式でスラッジ回収を行っていた時のスラッジ等

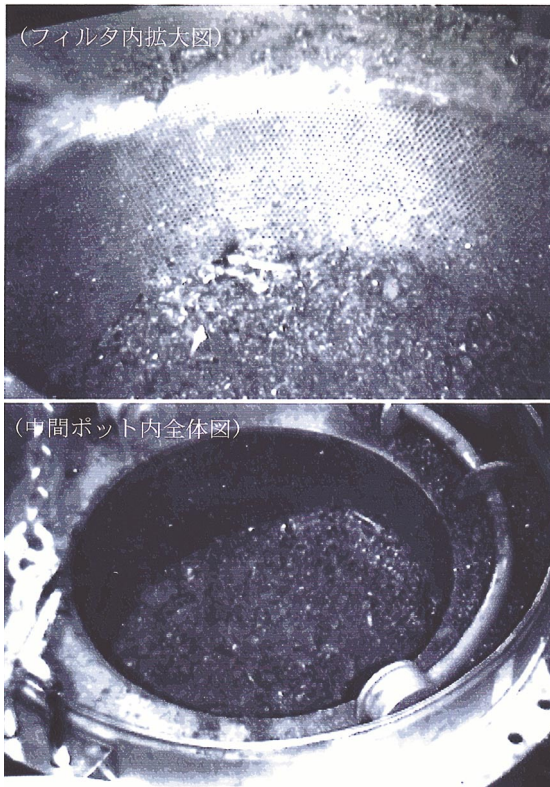


図9 スラッジの回収状況(中間ポット内)

の回収実績も合わせて示している。液置換方式でのスラッジの回収量はわずかであり、ハルについては回収されなかったものが、スラッジ回収装置適用後においては、スラッジ等の回収量は大幅に増大しており、これまでに約60 のスラッジと19本のハルを濃縮ウラン溶解槽から回収した。

(2) 作業時のセル負圧の状況

スラッジ回収装置運転時においても、濃縮ウラン溶解槽装荷セルの負圧に問題となるような変動はなく、セルの閉込め機能に影響を与えないことを確認した。

(3) 廃液の発生量等

液置換方式は、濃縮ウラン溶解槽に多量の水を供給し、ポンプを用いて濃縮ウラン溶解槽から吸い上げ、フィルタでろ過を行うという操作を繰返し行う方法であることから、結果的に多量の高放射性廃液が発生していたが、スラッジ回収装置の適用により、廃液の発生量は1バレル当たり約

表4 年度別のスラッジ等の回収実績

年度	インターキャンペーン名	スラッジ等の回収量		備考
		スラッジ(ℓ)	ハル(本)	
1993年度	93-2	0.4	0	液置換方式による
1994年度	94-1	1.5	0	
	94-2	0.9	0	
1995年度	95-1	28	12	スラッジ回収装置を適用
	95-2	5	0	
1996年度	96-1	20	5	
	96-2	3	2	
1998年度	第3回計画停止	4.4	0	

100 程度と液置換方式に比べて約1/10に低減することができた。また、スラッジ回収装置は、スラッジに対して直接アクセスする方式であることから、作業期間についても短縮化が図られた。

(4) 耐久性

1995年度以降、装置本体等は濃縮ウラン溶解槽装荷セル内に保管し、スラッジの回収作業に供しており、現在までに性能低下等による故障は生じておらず、十分な耐久性を有していることを確認した。

6. おわりに

濃縮ウラン溶解槽からのスラッジの除去に関して、堆積しているスラッジに直接アクセスする方法としてバキュームクリーナの吸引力を利用したスラッジ回収装置を考案した。本装置を用いたスラッジ除去作業を行った結果、これまでに濃縮ウラン溶解槽から約60 のスラッジと19本のハルを回収することに成功した。

スラッジ回収装置は、構造が簡単な上、十分な耐久性も有していることから、類似のセル内塔槽類からのスラッジ等の回収作業への適用が期待される。

参考文献

- 1) K.Gonda, K.Oka, et al. : " CHARACTERISTICS AND BEHAVIOR OF EMULSION AT NUCLEAR FUEL REPROCESSING ", NUCLEAR TECHNOLOGY , Vol.57, p.192 ~ 202 (1982).
- 2) K.Gonda, K.Oka, et al. : " NONSOLUBLE FISSION PRODUCT RESIDUES, CRUD, AND FINE CHIPS OF ZIRCALOY CLADDING IN HEADEND PROCESS OF NUCLEAR FUEL REPROCESSING " , NUCLEAR TECHNOLOGY , Vol.65, p.102 ~ 108 (1984).
- 3) 植野, 池森 他 : " 流体固体輸送工学ハンドブック ", 朝倉書店, 1966年(初版).