

No.9

デコミ ニュース

第9号

目次

1. 米国Barnwell再処理プラント(BNFP)解体始まる … 1
2. ドイツのMZFR(重水炉)のデコミッションング … 4
3. 国内外のシュラウド等炉内構造物の取替え …… 7
4. トピックス:ユニークな除染方法の紹介 …… 9
 - ・柳と雑草を利用した汚染サイトの浄化
 - ・高圧スポンジ発射技術を用い、ILWの処分費用削減

RAINDIEC

(財)原子力施設デコミッションング研究協会

1. 米国Barnwell再処理プラント(BNFP)解体始まる

本プラントは1970年代前半、当時、エネルギー自給を目指す米国政府の支援を受け商業用核燃料再処理の中核としてサウスカロライナ州バーンウエルに建設され、ピューレックス溶媒抽出法によって年間1,500トンのウランとプルトニウムを回収する計画であった。しかし、試運転中にカーター政権による核拡散防止政策に基づく商用再処理中止の煽りを受けて以降、これまで本格運転に入ることはなかった。この間、レーガン政権になって商用再処理は解禁になったものの、事業者はこの段階では最早投資分の回収はできないとして事業再開を断念し、プラントは白象(無用の長物)のまま放置されていたが、今度、最終的に解体されることになった。プラントには燃料受入れ/貯蔵施設、分離施設、各種の試験検査施設、硝酸プルトニウム搬出施設、UF₆施設、放射性廃液タンク関連設備および地下の廃液貯蔵タンク(30万ガロンのタンク3基)などの各施設がある(写真1)。当初、事業者(アライド・ケミカル・ニュークリア・プロダクト社とガルフ石油社)は、政府の方針がいずれ変更するものとみて、1983年の始めまでプラント実証のために試験操業を繰り返し行ってきた。使用済み燃料を用いた本格操業は行わなかったとはいえ、試験運転にはPu、Am、Npを使用し、さらに多量のUO₃をUF₆や硝酸ウラニルの模擬液として分離工程等のチェックに使用したために、施設は各種放射性物質で汚染されており、デコミッショニングには十分な放射線管理対策を含む安全評価が求められることになった。なお、デコミッショニングにおいては、設備、建物等の資産は他の目的に再利用することを目標として計画をすすめている。以下にプラント履歴、施設の状況およびデコミッショニング計画等について述べる。

プラント清浄化

1983年にプラント停止と清浄化が決定された。目的は、施設監視業務を最少限に留めること、放射性物質許認可量の低減化、使用限定されない施設の再利用化などであった。この清浄化で200トンのウラン化合物が除去され、配管内部の系統除染、汚染機器の撤去、ホットおよびコールド試験施設の機器、フードやグローブボックスが撤去された。同年にロックウエル社は放射線学的な状況を調査し、その結果を基に、アライド・ジェネラル・ニュークリア・サービス(AGNS)社は放射性物質量がPuで1gおよびUで5kgであることから、認可を「保有のみ」に変更した。次の2年間で付属施設を撤去し、プラント維持費と固定資産税の軽減を図った。その後は14年間にわたりケム・ニュークリア・システム(CNS)社が施設の放射線サーベイを年2回行っており、これまでは特に異常はなかった。一方、サウスカロライナ州健康環境管理局(SCDHEC)も定期的に監視していた。

デコミッショニング決定とその計画

1997年初めにデコミッショニングが決定され、州当局との間で基本的な次のようなプラント清浄化指針が決められた。

①残留放射能からの実効線量当量は年間15mrem以下、②地下水または表面水にあってはウラン濃度は30pCi/l、又は、全放射性核種で4mrem/年以下、③施設の表面から1mにおいて直接測定で5mrem/h、④移動できる機器は表面から1cmにおいて直接測定で0.1mrem/h、⑤土壌と

コンクリートの濃度はウランが30pCi/g、 γ 核種が10pCi/g、⑥Pu汚染のフード、金具、パイプ、排気設備の撤去。

デコミショニング計画はサバンナリバーのHWCTR炉のデコミショニング計画を作ったユーエス・エナジー社およびライフサイクル・エンジニアリングの二社が合同で行うことになった。デコミショニング戦略としては、規制当局と緊密な連携をとり、商業-工業界の利用者への所有権は利用限定ではなく無拘束で渡すこととした。本プラントの施設をUF₆施設、試験建屋、分離建屋、高レベルタンク施設およびその他の領域の5区分に分割して計画を検討することとし、詳細使用履歴の調査、放射性物質の汚染度合の調査およびコードによる除染ガイドラインの評価を行い、各領域毎に解体計画を策定することなどが決められた。

使用履歴評価とプラントの現状調査

デコミショニング計画を検討するにあたり施設の履歴評価を行った。評価する資料には放射線測定記録、作業日誌、メモ、報告書、図面および施設の部屋、床の材料等がある。テスト時の処理プロセスおよび分離建屋の評価では、施設が複雑なために当時の技術者も参加し詳しく行った。評価結果はエリア毎に5編のレポートにまとめ、その中では各施設の説明と試運転時に使用した施設および処理プロセスについて説明をしている。サイトの履歴評価にはMARSSIM (Multi-Agency Radiation Site Survey and Investigation Manual) が使用された。一方、プラントの放射能評価には多くの手法が使われた。たとえば、施設の壁・床の α 、 β ・ γ 測定、汚染配管内部放射能の外部線量率直接測定による評価、スミヤー法、コンクリート等の放射能濃度測定、各エリアの汚染線源計算用遮へいコードの開発、機器や配管の開口による内部のチェックとともに、グローブボックスや機器のガンマ線測定等が実施された。この結果はデコミショニング計画を効率的に立案する上で役立った。

調査では以下のことも判明した。過去の履歴や元作業者の聴き取りから、地下の廃液タンクには廃液はほとんど存在しないといわれていたが、デコミショニングを始めた段階で、溶解した天然ウラン250kgを含むリン酸トリブチルとケロシン混合物からなる有機溶液と水溶液約5,000ガロンが見つかった。さらに、僅かに放射能を持った70,000ガロンの水溶液がタンク内で見つかったが、これは地下室天井の出入口から地下貯蔵建物のタンク室に雨水が浸入し、地下室に溜まりタンクを天井まで押し上げた際に、タンクの廃液口から雨水がタンク内に入ったものであった。

5つのデコミショニング計画

デコミショニング計画を作る際にサウスカロライナ州当局とNRCに計画の説明を行ったが、その際、NRCの最近の計画(Saxton)とHWCTR炉のデコミショニングもモデルとした。また、最終段階の調査においては、チャールストン海軍造船所の原子炉施設解体もモデルとして考慮した。除染計画では、商業-工業界の再利用シナリオに合う15mrem/y以下の残留放射能値をもって被曝評価した。一方、除染のガイドライン評価に使う計算コードとして“RESRAD”と“RESRADBUILD”の2つを使うことを検討したが、当局は“RESRAD”を推奨した。これはHWCTR炉において開発・使用されたもので、それをういて個々のエリアのデコミショニングモデルの構築のためのシナリオを構築し、州当局の同意を得た。

5つのデコミッショニング計画の作成に約4ヶ月かかったが、当初の除染ガイドラインがウランやTRUからなる汚染に対しては、適切でないことをサウスカロライナ州当局と本計画チームが確認した。また、施設表面から1m定点評価の項目も計画から省かれた。表面計測結果から配管等の内部汚染評価できる新技術が配管やダクトの汚染レベルの評価に威力を発揮した。州当局は5つの計画を確認し、サイト履歴評価開始から7ヶ月以内でデコミ計画の策定作業は終了した。

デコミッショニングの現況

ライフサイクル・エンジニアリング社とトライアド社が、1998年春にプラントのデコミッショニングを開始したところである。ライフサイクル社が幹事会社となりプロジェクト管理、エンジニアリングおよび保健物理を担当し、環境サービス会社であるトライアド社が、解体計画、放射線管理、解体作業員の手配を行い作業を進めている。

参考文献

Jim McNeil : Radwaste Magazine, (6) 37, May/June, 52~57 (1999)

J. A. Buckham et.al.: Am. Soc. Civil. Eng., (81) 67, 12 (1981)

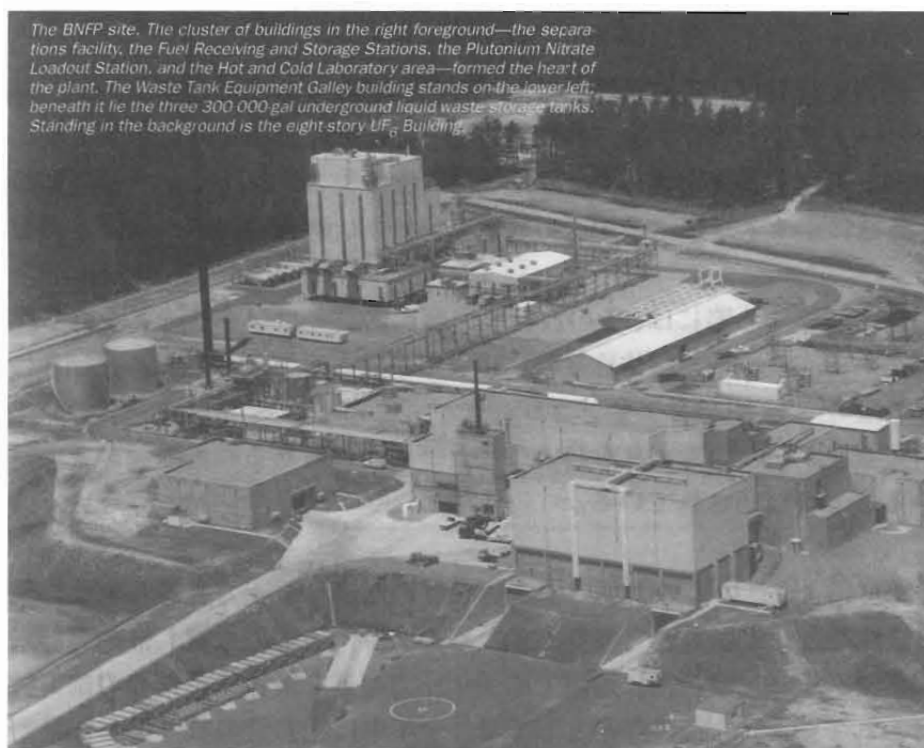


写真1 バーンウエル再処理プラントの全景

2. ドイツのMZFR(重水炉)のデコミッショニング

MZFRは熱出力200MW、電気出力50MWの重水冷却/重水減速の加圧重水型(PHWR)の多目的炉で、発電実証と燃料の照射実験のために1965年から1984年まで約19年間運転されてきた。十分な運転・照射実績が得られたことから、使命終了に伴うデコミッショニングが決定された。デコミッショニング方式は当初密閉管理方式を選定したが、一步一步段階を追って、順次解体を行うほうが有利であるとの結論から即時解体方式に変更した。図1に示すように、8段階の許認可を得ることで、1984年から開始され2004年に完了する計画であり、順調にデコミッショニングを進めている。現在、第6段階の許認可に対応した作業が終了し、第7段階の許認可に対応した現場作業が行われているが、最近の状況を踏まえたいくつかのトピックスと今後の予定を紹介する。

第6段階の許認可は一次系システムと付随する設備類の解体である。その計画は、1996年6月に規制当局へ提出され、1997年4月に許可された。その後、現場の解体作業が開始され、今年の2月に終了した。残留重水がシステム中にあると作業が遅れることも想定されたが、これは心配するに及ばなかった。一次系の解体作業は、遠隔作業ではないため、作業安全に加えて被ばくを極力少なくすることが重要である。第6段階許認可の現場作業に伴う被ばく量は全体で約0.19Svであり、当初の予想値の約20%であった。このうち蒸発器の解体に伴う被ばく量が最も高い値であった。第6段階の解体作業に伴う期間全体を通した月単位の外部被ばく量を図2に示す。

解体された機器や配管は、格納容器内の梱包場所へ移動する必要があるため、部屋を仕切っているコンクリート壁が適当な大きさに切断された。切断には写真-1に示すように汎用的な円盤ブレードやバンドソーが使用された。写真-2には切断後のコンクリート壁の開口部の例を示す。現在は写真-3に示すように原子炉圧力容器を除いて、格納容器内にはほとんどの設備がない状況である。

生体遮へい体を解体する際には、その放射能濃度に応じてコンクリートのある程度の深さまではつる必要がある。一次系の解体作業時には、この深さを評価するため、図3に示すように生体遮へい体の縦方向3ヶ所のコアサンプリングが実施された。サンプリングの結果はトリチウムによる放射能濃度が他の元素よりも高いこと及び表面からある程度の深さまでは指数関数的に減少していることが確認されている。

第7段階許認可により、いよいよ炉内構造物を含めた原子炉圧力容器の解体作業が開始される。現在、準備作業として圧力管を取り出すためのクレーン等の設置、格納容器内全体の空調設備の設置工事やタービン建物内に遠隔で原子炉圧力容器を解体するための制御装置を設置する工事等が行われている。今後の作業としては、今年中に圧力管の取り出し作業が開始される予定であり、一日あたり3本の圧力管を取り出す計画となっている。その後、来年6月から圧力容器の上部リッドの解体が開始され、2001年当初から遠隔操作により水中でのプラズマ切断装置を用いた重水減速タンクと熱遮へい体の解体、引き続き、遠隔操作による原子炉圧力容器の解体作業が行われ、2001年8月に第7回許認可の作業が完了する予定である。

なお、設置サイトの解体作業が全て完了し、グリーンフィールドとなるのは2004年の予定である。デコミッショニングの総費用は427MDM（約256億円）と見積もられている。

本報告で使用了資料等は、一般的な重水炉のデコミッショニングに対して参考になると考えられる。

〈参考資料〉

- (1) FZK-Decommissioning Project：FZK 説明資料（1999年6月）
- (2) Contents of the presentation：FZK 説明資料（1999年6月）
- (3) Progress Report on the Multi-purposes Research Reactor（MZFR）
：FZK 説明資料（1999年6月）

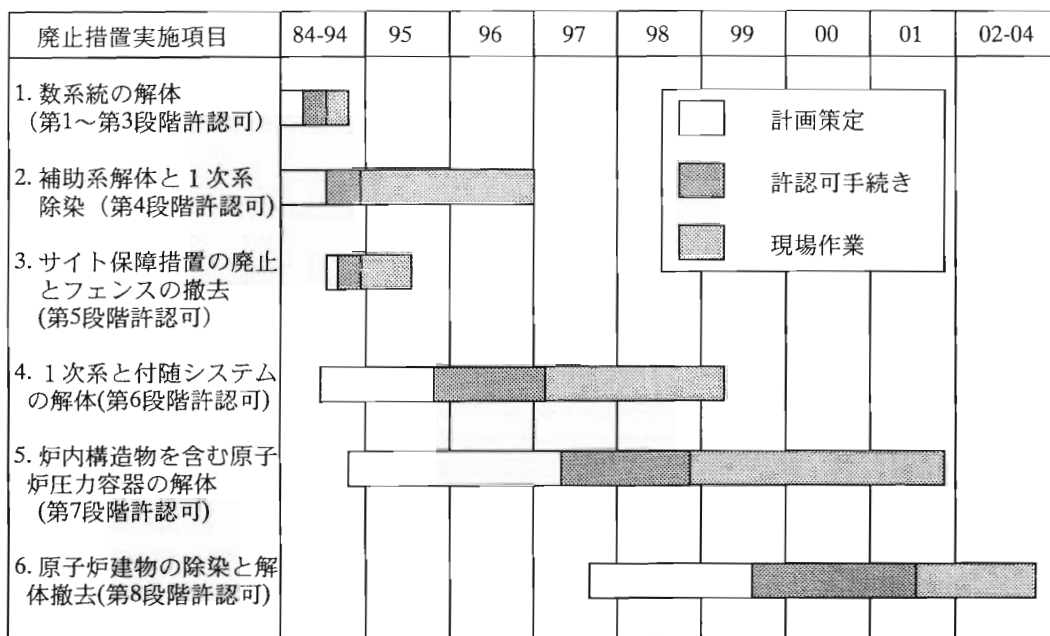


図1 MZFRのデコミッショニング工程

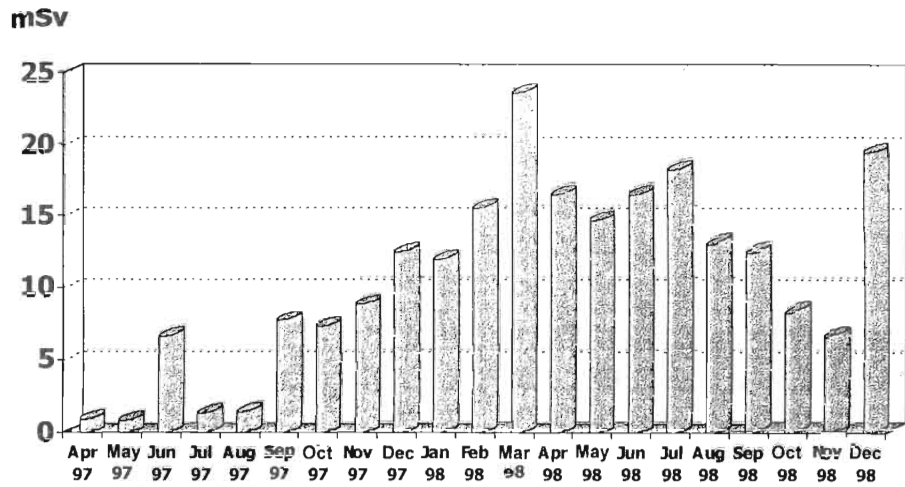


図2 第6段階の許認可の解体作業に伴う外部被ばく量

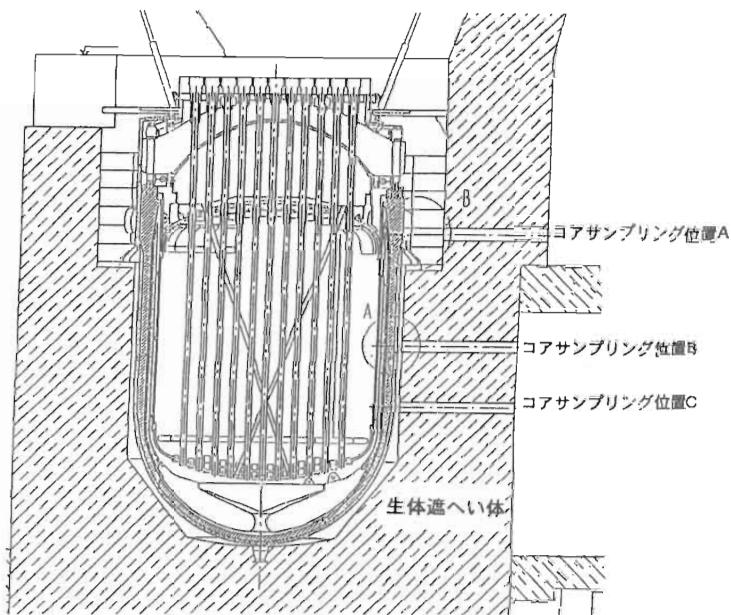


図3 生体遮へい体のコアサンプリング場所

写真1 コンクリート壁の切断装置の例



写真2 切断したコンクリート壁開口部の例

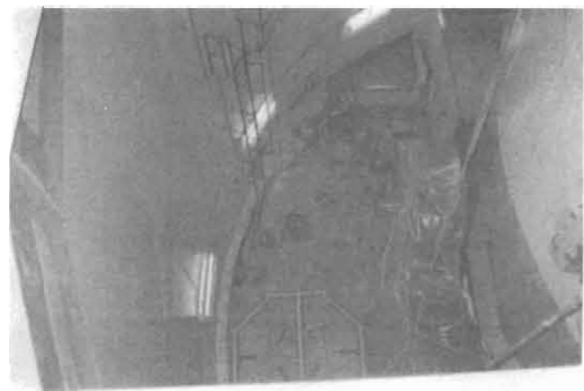


写真3 機器・配管解体撤去後の蒸発器室

3. 国内外のシュラウド等炉内構造物の取替え

スウェーデンのオスカーシャム1号機（46.5万kW、ABB Atom社製BWR）で実施された炉心シュラウド等の取替え工事概要、及び2000年に炉心シュラウドの取替え工事が予定されているフォスマーク1・2号機で、新たに採用する炉心シュラウドについて紹介する。また、東京電力(株)福島第一原子力発電所の2・3号機の炉心シュラウド等の取替え工事で採用された切断技術を簡単に記述する。

(1) オスカーシャム1号炉の炉心シュラウド等の取替え

スウェーデンとフィンランドでは、ABB Atom社設計の発電用原子炉が11基運転されている。それらの中で最も古いオスカーシャム1号機の原子炉圧力容器や炉内構造物の検査が、系統除染を行い水抜きをした状態で実施された。その結果、一次圧力系バウンダリは完全な状態であったが、炉内構造物に応力腐食割れや熱疲労による幾つかのクラックが発見され、炉心スプレー用ライザー、炉心サポート等の交換など広範囲な補修工事が実施された。また、この時点で炉心シュラウドの交換を行うことを決定し、1996年にABB Atom社との間でその工事契約が締結された。

1998年に、炉心スプレー系、気水分離器、給水スパジャヤーを含む炉心シュラウドの撤去と据え付けが実施された。炉心シュラウドの切断作業を行ったGE社が初の炉心シュラウドの取替え工事のため慎重に行ったことや従来の機器を新しい炉心シュラウドに取り付けることが予想以上に難しいことが分かった。これらの理由で、工事期間は計画より長引き、同機は結局6ヶ月以上運転を停止することになった。

新しい炉内構造物は、元の図面を参考にして製作され、材料の改良、溶接箇所削減、炉心スプレー系の設計変更、高性能の気水分離器の採用等幾つかの改良が加えられた。また、炉内構造物の取り付けや検査が簡単に行なえるよう設計に配慮がなされた。

この炉心シュラウド取替えは、東京電力(株)福島第一の3号機（78.4万kW、BWR）の炉心シュラウド取替えに次いで世界で2番目となった。

(2) フォルスマルク1・2号機の新しい炉心シュラウド

フォスマーク1・2号機の上部炉心サポート・グリッド及び炉心シュラウドの取り替え作業を2000年に実施する契約がこのほどABB Atom社との間で締結された。

発注者は、炉心シュラウドを鍛造タイプのものにするか、溶接タイプのものにするか検討を行った。その結果、鉄鋼メーカーの開発により、BWRの炉内構造物の仕様に適合できるようなリング状やディスク状の新しいデザインの鍛造製品の製造が可能であることや将来の検査費用が安価であることなどを考慮して、鍛造タイプを選択した。これら鍛造で製作された炉心シュラウドや炉心グリッドは、サイトへの搬入前に工場で検査を行うことができる。

スウェーデンでは、最近、原子力プラントの検査や修理に対して、新しい法規制が適用されることになり、検査費用が高騰している。一方、機器の価格は低下しているため、炉内構造物の一回の検査に要する費用は、機器価格の3分の1程度とかなり高い割合になっており、原子炉寿命期間中における多額な検査費用、修理、その他の問題に対処する費用等を考慮すれば、炉内構造物を取替えてしまう方法はかなり魅力的であるとABB Atom社は述べている。

(3) 福島第一における炉心シュラウド等の取替え

我が国では東京電力(株)福島第一原子力発電所の2・3号機で、溶接で据え付けられた炉心シュラウド等炉内構造物の取替え工事が実施された。3号機の炉心シュラウド等の取替え工事では、炉内で放電加工 (EDM) により切断切り離しを行った後、隣接するプール内で保管のための細断がプラズマアークで実施された。3号機に続いて実施された2号機では、3号機の経験を反映させるとともに工事期間を短縮させる目的で、原子炉内での炉心シュラウド切断にロールカッター工法を採用し、切断時における気泡の発生と切りくずの発生を同時に抑えている。また、プール内での細断では、厚板の構造物から複雑形状の構造物まで同一装置で切断でき、切断時に放射性微粒子を含むガスの発生がほとんどないUHP切断工法 (Ultra High Pressure-Abrasive Water Jet) が採用された。

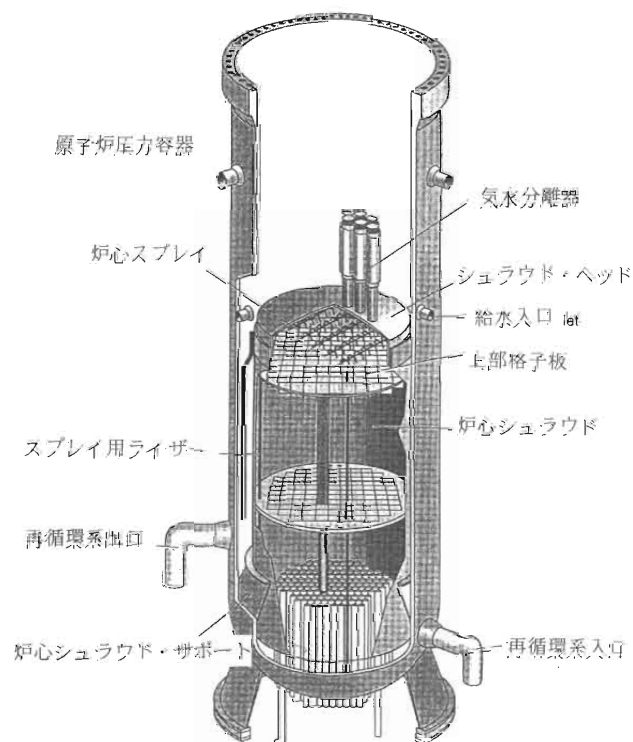
我が国で使用している炉心シュラウドは溶接タイプであるのに対し、スウェーデンで使用されている炉心シュラウドはボルト止め部分があるため、工事期間が多少短くなっている。

<参考資料>

- (1) Nuclear engineering INTERNATIONAL. Vol 44 No 538 May 1999
- (2) デコミッシング技報第20号 (1999年8月)



オスカーシャムの試験用炉内構造物



オスカーシャムの原子炉圧力容器と炉内構造物

ユニークな除染方法の紹介

除染の目的は、原子力施設の解体工事時等における作業員の放射線被ばくの低減、放射性廃棄物量の低減など様々である。また、除染方法も化学的除染や機械的除染など目的や除染対象物によって種々の除染方法が採用されている。サイトの浄化と中レベル廃棄物（ILW）の除染について、NUCLEONICS WEEK-May 20, 1999 に掲載されていたユニークな除染方法を2つ紹介する。

柳と雑草を利用した汚染サイトの浄化

国立アルゴンヌ研究所は、放射性核種や重金属で汚染されている土壌から柳と雑草（*koschia scoperia*）を利用して汚染物を吸い取り、サイトを浄化する研究を進めている。柳と雑草が根や茎、葉に放射性セシウムや重金属の汚染物を吸収することを利用したもので、定期的に柳と雑草を収穫して乾燥させ焼却し、汚染源の大部分が含まれるその焼却灰を適切に処分しようとするものである。そのため、焼却灰の試料を採取し、分析・評価を行う試験を実規模の野外試験場で2年間行うことを予定している。

国立アルゴンヌ研究所は、温室での実験から、アイダホ国立工学・環境研究所サイトのクロム、水銀、セレン等の重金属や放射性核種のセシウム 137 などで汚染されたサイトをこの植物に吸収させて除染することが可能であるとしており、約4,000本の柳を植え、今後2年毎に収穫する計画で、雑草についても毎年、種子ができる前に収穫する計画をたてている。

高速スポンジ発射技術を用い、ILWの処分費削減

この方法はグリッドを混入したスポンジを汚染された設備に向けて高速で発射し、除染対象物の放射線を吸収し除染を行おうとするもので、スポンジの高速発射技術については、石油やガスの産業界ではすでにパイプ内壁や機器の清掃に利用されている技術である。この除染技術の開発は、英国のAEA社によって進められているもので、柔らかいスポンジでは表面の皮膜を除去する程度にとどまるため、スポンジにグリッド粒子を混入し、最高毎秒150mで発射することにより除染効果を高めている。

英国では1m³のILWを貯蔵するには、2,000万円以上の費用となるが、低レベル放射性廃棄物（LLW）の処分には普通、1m³当たり数十万円で済む。このことから、このスポンジ発射技術を適用し、様々な種類のILWをLLWに変えて廃棄物処分費用を低減しようとするもので、その可能性がこの技術開発により示されたとしている。このスポンジ発射技術は、原子力施設の機器や核燃料容器の除染にも適用でき、また、保守作業等の前に設備を除染し、作業員の被ばく低減のためにも使用できるとしている。

原子力の分野では、スポンジを再利用することは可能であり、最終的には放射性廃棄物として処分する必要はあるが、その容量は、除染される設備の大きさに比べればかなり少ないとAEA社は述べている。

ご案内『第11回 報告と講演の会』

当協会の「第11回報告と講演の会」を下記のとおり開催いたしますので、ご案内申し上げます。

当協会の最近の成果を報告させて戴くとともに、招待講演を予定しております。プログラムの内容につきましては10月初旬までにご案内いたします。

来るべき「デコミッションングの時代を拓く」ための一助とさせて戴ければ幸いです。ご来場をお待ちしております。

- ◇日 時 平成11年11月5日（金）13時15分～16時30分
◇場 所 虎ノ門パストラル（旧・農林年金会館）

デコミニュース 第9号

発行日 平成11年8月31日

発行 財団法人 原子力施設デコミッションング研究協会

〒319-1111 茨城県那珂郡東海村舟石川 821-100

電話：029-283-3010 Fax：029-287-0022

ホームページ：<http://www1.sphere.ne.jp/randec/>

