原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT FUNDING AND RESEARCH CENTER TOPICS

2016.6.NO.118

目　次

センターの活動状況 ❶
福島第一原子力発電所事故廃棄物の処理・処分技術開発の概要 ❸

センターの活動状況

Ⅰ　運営状況

第19回理事会の開催

平成28年6月7日（火）開催の第19回理事会において、平成27年度事業報告、平成27年度決算及び第14回評議員会（定時）の招集について、資料に基づき説明し、その承認を求めたところ、それぞれ原案のとおり、承認可決されました。

第14回評議員会（定時）の開催

平成28年6月29日（水）開催の第14回評議員会（定時）において、平成27年度事業報告及び決算について、下記の書類を提出して説明報告し、了承されました。

①　事業報告書
②　事業報告書の附属明細書
③　貸借対照表
④　正味財産増減計算書
⑤　貸借対照表及び正味財産増減計算書の附属明細書
⑥　財産目録
⑦　キャッシュ・フロー計算書

Ⅱ 成果等普及活動の実施状況

平成28年度　第1回原環センターセミナーの開催

放射性廃棄物処分の安全評価から処分の全体像を把握する第一歩として、安全評価の入門知識を習得したい技術者・研究者を対象とした、第1回原環センターセミナー「放射性廃棄物最終処分の安全評価の基礎Ⅰ」を以下のとおり開催しました。このセミナーでは、内容をごく基礎的なものに限定して、放射性廃棄物の発生、放射線の健康影響、放射性廃棄物処分の安全確保の構造、放射性廃棄物処分の安全評価とセーフティケースなどの講義を行いました。講義後の総合討論では、講義への質疑応答を通じて、理解を深めていただきました。

開催日時：平成28年5月27日（金）10:30～17:45
開催場所：京都大学 東京オフィス　大会議室A, B
講　　師：公益財団法人原子力安全研究協会
　　　　　技術顧問　杤山　修　氏
プログラム：
　講義1　放射性廃棄物の発生と放射線の健康影響
　　・核燃料サイクルと放射性廃棄物の発生
　　・核反応、放射線、放射能の基礎知識
　　・放射線の健康影響と防護基準
　講義2　放射性廃棄物処分の安全確保の構造
　　・放射性廃棄物の分類と処分オプション
　　・クリアランス、規制免除、規制除外、放出
　　・放射能濃度上限値と評価シナリオ
　講義3　放射性廃棄物処分の安全評価とセーフティケース
　　・セーフティケースとは（安全評価とセーフティケース）
　　・地層処分の安全確保戦略と確信の訴求
　　・セーフティケースの構造
　総合討論

福島第一原子力発電所事故廃棄物の処理・処分技術開発の概要

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構　福島研究開発部門
廃炉国際共同研究センター　研究推進室室長代理
技術研究組合国際廃炉研究開発機構　開発計画部　副部長
宮本　泰明

1.　はじめに

福島第一原子力発電所事故廃棄物について研究開発等を行っている内容について紹介する。

この報告は、経済産業省委託事業「平成25年度発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備（事故廃棄物処理・処分概念構築に係る技術検討調査）」、経済産業省／平成25年度「廃炉・汚染水対策事業費補助金（事故廃棄物処理・処分技術の開発）」及び平成26年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金（固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発）」の成果を含んでいる。これらの研究は、技術研究組合 国際廃炉研究開発機構（以下、IRID）が受託して、その組合員として国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、JAEA）が実施したものである。

2.　研究開発の目的

福島第一原子力発電所（以下、1F）の事故により発生した廃棄物は、事故に伴い炉心溶融が起こっていることから炉心燃料に由来した放射性核種を含んでおり、非常に高線量のものが多いなど、従来の原子力発電所の廃棄物と大きく異なっている。また、初期の冷却に海水を注入したため、発生する廃棄物にも海水成分が含まれている。海水成分として、塩分やその他ミネラルの成分が含まれるので、従来の通常施設から発生する廃棄物を処理・処分とは異なった難しさがある。さらに、水処理をした際に発生するゼオライトやスラッジといった、これまでに放射性廃棄物として処理や処分を想定していなかったものが発生してくることも課題である。

また、水素爆発等が起こった時に、初期に気中の拡散により汚染した部分と溶融した燃料がそのまま汚染源になっているものがあるので、汚染レベルが低いものから非常に高いところまで多岐にわたっていて、それぞれの発生量も多いというのが特徴になる。

これらの廃棄物の処理・処分に際しては、汚染状況に応じた研究開発を実施することが必要になる。本研究では、特殊な廃棄物について、処分に関する安全性の見通しを確認すること、及び、現在1Fの現場でおこなわれている廃炉・汚染水対策を円滑に進めるために必要な技術の整備、データの整備を行っていくことを目的としている。

3.　事故廃棄物の状況

事故によって発生した汚染の汚染源としては、**図-1**に示すように、爆発によって気中に飛散・拡散した核種による汚染、炉心冷却に伴い発生した汚染水による汚染、燃料デブリ及びこれが構造物に付着した汚染、の3つが主体となっている。また、これらに事故前の操業時の汚染が加わる。

爆発によって気中に飛散・拡散した核種によって汚染されているものにはガレキ、樹木、土壌等がある。汚染水による汚染は、汚染水自体を処理した二次廃棄物、汚染水が通過した部分の配管とか貯槽等がある。3つの汚染源による汚染はそれぞれが単独の汚染になっているわけではなく、それぞれが複合していると考えるべきであり、汚染状況を複雑にしている。

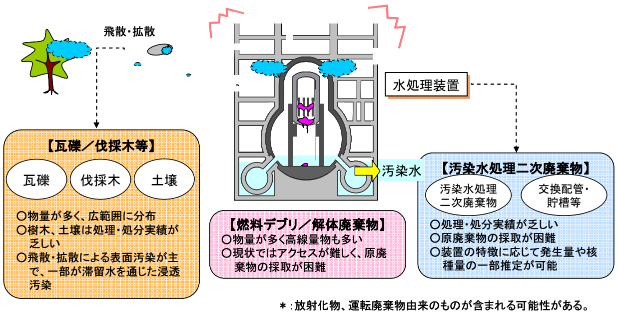

図-1　福島第一事故廃棄物の特徴

表-1に事故廃棄物と通常の操業廃棄物との比較を示す。操業廃棄物では、発生量、ハンドリング、性状把握の状況、処理技術、処分の安全評価といった項目では、良く把握されているし、ハンドリングに関する見通しが十分についている。それに対して事故廃棄物は、これらがコントロールされていないため、一部を除いて放射性廃棄物の発生量が把握されておらず、また、非常に高線量のものがあり、水分を含んだものが大量に発生するので、ハンドリングについても明確になっていない状況にある。

表-1　福島第一事故廃棄物と操業廃棄物の比較

不確実性の項目	対策の度合い	
	操業廃棄物	事故廃棄物
廃棄物発生【量、種類、時期】	◎	△
ハンドリング（取り出し・区分）【困難性】	◎	△
性状把握【情報の充分性、サンプルの困難性、サンプルの代表性】	○	△
処理・廃棄体化技術	○	？～△
埋設・処分方法及び安全評価	△～○	？
規制・技術基準、ガイドライン、サイティング	△～○	？

◎：把握している、あるいは充分見通しがある。
○：概ね見通しがある。△：限定的である。
？：論じられる段階ではない。

通常の原子力発電所を廃止措置すると、発生する廃棄物のうちの約98%はクリアランスや非放射性という扱いになり、実際に放射性廃棄物になるのは約2%と評価されている。それに対して1Fでは、事故により汚染が広く拡散しているために発生する廃棄物が全て放射性廃棄物になると考えてよい状況にある。今後、クリアランスのような概念を適用して再利用をしたとしてもその量は限定的になるため、発生する廃棄物のほぼ100%が放射性廃棄物として扱う必要がある。この点が通常の原子力発電所とは大きく異なる。概数的にとらえると、国内の50数基原子力発電所を廃止措置して発生する放射性廃棄物に相当する物量が1Fを廃止措置した際に発生する物量になる、というようなレベルと考えられる。

現時点では1F事故廃棄物は不確実性が多い状態であるが、将来的には、この不確実性を解消して管理された状況に置き、通常の操業廃棄物の管理レベルにすることが望まれている。

4.　研究開発の実施体制

研究開発は、政府が決定した中長期ロードマップ（2015年6月改定）に沿って実施している。2014年に原子力損害賠償・廃炉等支援機構（以下、NDF）が設立され、NDFが技術戦略であるとか技術的な判断をするCOE（Center Of Excellence）としての役割を果たしている。NDFが決定した戦略に基づいて、廃炉に向けた工事等の現場のオペレーションは、東京電力（以下、東電）廃炉カンパニーが中心となって実施し、それに関連する技術開発をIRIDが実施するという、枠組みで1F廃炉は進められている。

中長期ロードマップにおいて放射性廃棄物に関する処理・処分については、2017年度と2021年度にマイルストーンが設定されている。2017年度内に「廃棄物の処理・処分に関する基本的な考え方」を取りまとめ、さらに、2021年頃までをめどに「処理・処分方策とその安全性に関する技術的な見通しを得る」ということが目標になっている。

また、保管管理の観点から、「必要に応じて腐食抑制策や管理環境の改善、廃棄物容器の品質管理といった対策を講じる。」ということが示されており、発生した廃棄物を1F内で安定的な保管に向けた対策も目標に掲げられている。

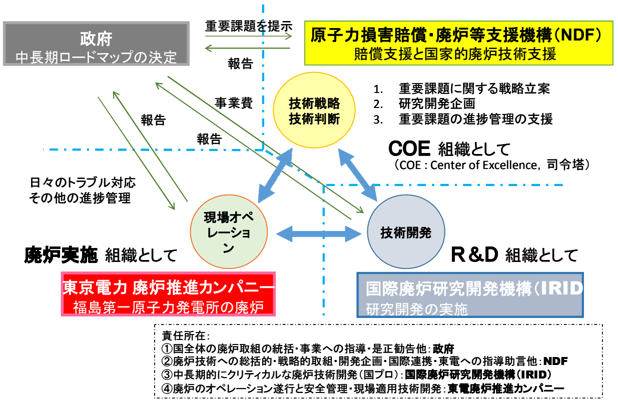

図-2　研究開発の実施体制

図-3にIRIDの研究の実施体制を示す。IRIDの中では、JAEAの他、東電、アトックス、東芝、日立、三菱重工業の6者の体制で研究開発を進めている。また、国内外の大学、メーカー、関係機関等との協力関係を確立し、さらに国内外の学会、国際機関等の叡智を結集することも重要な取り組みとしている。具体的な事例としては、日本原子力学会に設置した特別専門委員会での検討、及び、OECD/NEA（経済協力開発機構／原子力機関）のエキスパートグループでの検討があり、国内外の知見を集約している。

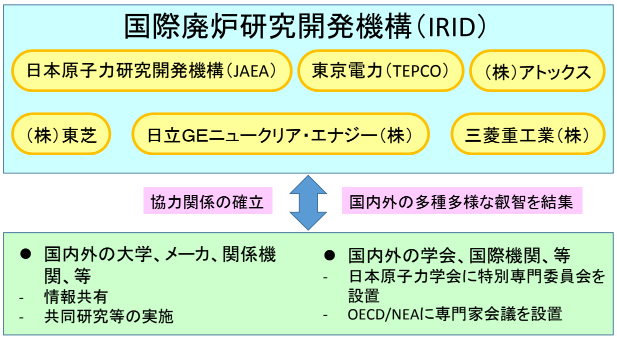

図-3　IRIDの研究の実施体制

5.　研究開発の実施内容

通常の原子炉の廃止措置では、廃棄物の発生がコントロールされている。このため、廃棄物の情報を把握したうえで、処分前に検討する処理の検討、処分に対する検討を行うことが通常の検討方法である。それに対して、1Fの廃棄物は、現時点では性状把握が十分にできていない。性状に関する情報を把握してから処分前の検討や処分に関する検討を行うという通常の検討方法を採用した場合には、2017年度及び2021年度に設定されているマイルストーンを考慮するとスケジュールを満足することはできない。したがって、性状把握、廃棄物処理に関する検討、廃

棄物処分に関する検討を並行して進める必要がある。

検討を進める過程で、廃棄物処理に関する検討及び処分に関する検討から性状に対する要求事項が発生することになるが、この要求事項を性状把握にフィードバックして優先的にデータを取得するなどして研究開発を進めていく。時間の経過とともに性状把握により得られる情報の蓄積も充実してくるので、ある段階からは性状情報に基づいた処理検討及び処分検討を実施可能になると考えている。最終的には通常の原子力発電所と同じような検討方法で処理・処分の検討を進められるようにすることを目指す。

6.　処理処分の技術研究開発の項目

処理・処分に係る技術開発の項目は、**図-4**に示す通り、廃棄物ストリームに関する検討、性状把握、廃棄物処理に関する検討・長期保管方策の検討、廃棄物の処分に関する検討、データベース整備の5項目から構成している。

廃棄物ストリームに関する検討は、統合的に情報を収集して全体の方針を決めていくという点で重要な項目である。発電所を構成する部材の状況を含めて、最終的にどう処理されて、どう処分していくのかというフローを廃棄物ストリームとして明確にする。

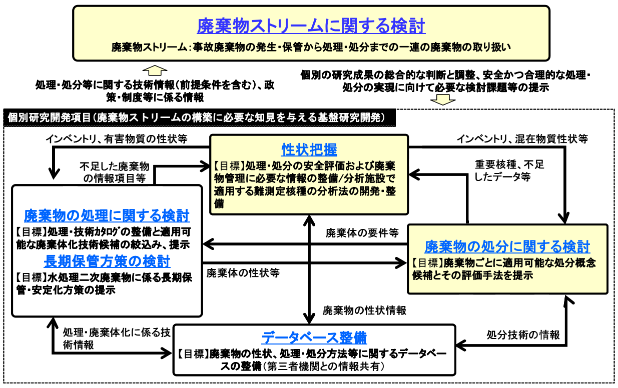

図-4　処理・処分に係る技術/研究開発項目

7.　処理処分の技術研究開発の実施内容

「個別研究開発項目」としては、廃棄物ストリームの構築に必要な知見、必要な情報として、性状把握、廃棄物の処理・処分に関する検討を実施する。個別研究開発項目については、それぞれを相互に関連させ、不足した情報、必要となる情報を示して、明らかになった情報をデータとしてフィードバックする。

廃棄物ストリームの検討では、検討方針、処理・処分に向けて性状把握、長期保管、処理・処分それぞれの関連事項はどういうものがあるのかというのを抽出し、廃棄物ストリームの候補の検討を実施する。

性状把握については、主には廃棄物試料の分析、汚染核種の分析を実施する。また、インベントリ評価、難測定核種の分析技術開発についても実施する。

長期保管方策の検討については、主に多核種除去設備（ALPS）スラリーの保管に向けた安定化技術の開発、セシウム吸着装置（KURION、SARRY）吸着塔の評価を実施する。

ALPSスラリーの安定化に関しては、ALPSは処理過程で非常に水を多く含んだスラリーが発生するプロセスになっており、このスラリーの安定化に向けた研究開発を実施している。

セシウム吸着装置（KURION、SARRY）吸着塔の評価では、吸着塔の腐食に関する評価を実施している。海水を最初冷却水として入れたということが原因になるが、処理に伴って吸着塔内に残存する残存水の塩分濃度が高い状態で保管されている。特に、初期に発生した吸着塔残存水の塩分濃度は高い。吸着塔は材質がステンレスであり、腐食に対する考え方、安定性という観点で評価を実施する必要がある。

廃棄物の処理に関する検討については、処理設備を整備して実際に処理を開始するのは後年度になるが、処理技術の選定に資するために、適用可能性のある既存の廃棄物処理技術についてカタログ的なまとめを実施する。また、データが不足する技術については基礎試験を実施して評価に必要な情報を整備する。

廃棄物の処分に関する検討については、処分の実施は時間的には最終段階になるが、処分の検討は現時点から実施することが必要になる。重要核種の抽出（どの核種を評価したらいいか）というのが性状把握で評価する核種に影響するので、現時点から安全評価等を実施し、評価すべき核種を検討することが求められる。また、既存の処分概念で対応することが合理的ではない特殊な廃棄物については新たな処分概念についても提案を行う。

8.　廃棄物ストリームに関する検討

廃棄物ストリームに関する検討は、全体を俯瞰することが目的しており、個別研究開発項目と相互にフィードバックをかけながら実施する。**図-5**に伐採木を例として廃棄物ストリームに関する検討の概要を示す。性状把握、廃棄物処理に関する検討、廃棄物処分に関する検討をそれぞれ実施しているが、廃棄物ストリームとして全体を統括しながら各個別研究開発項目間にフィードバックできるようにしている。

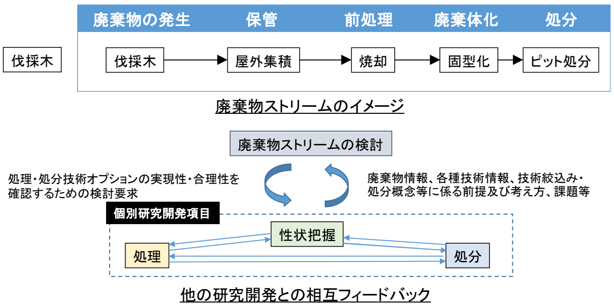

図-5　廃棄物ストリームに関する検討

検討手順については､廃棄物のリストを作成する。非常にたくさんの要素になるが、1Fの中に存在した機材等について装置レベルで抽出する。その後、抽出した要素に対して既存の処理・処分概念を基に廃棄物ストリームの原案を作成する。検討過程においては複数のケースが作成されるが、適用処理技術、最終的な物量等の情報を加味してケースの絞り込みを行う。

図-6に発生時期と発生場所等の項目で整理した廃棄物ストリームの原案例を示す。原案を作成する分類としては、S1からS12の分類を設定してそれぞれについて検討を実施する。

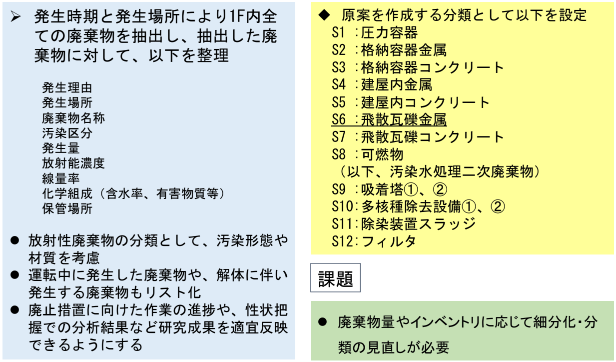

図-6　廃棄物ストリームの原案例

今後は、処理・処分に至る適用技術の条件を決定するために、判断基準を明確にする必要がある。そのために、検討に必要となる要件を性状把握、処理・処分の検討、等の個別検討へフィードバックして得られた結果を反映することにより廃棄物ストリーム検討の精度を向上する。

9.　性状把握に関する検討

性状把握に関する研究開発については、**図-7**に示す通り、処理・処分の安全評価のためのインベントリデータセットの設定及び廃棄物管理データの整備することを目標として、分析結果に基づくインベントリ評価手法と解析的手法に基づくインベントリ評価手法からインベントリの確定を実施する。

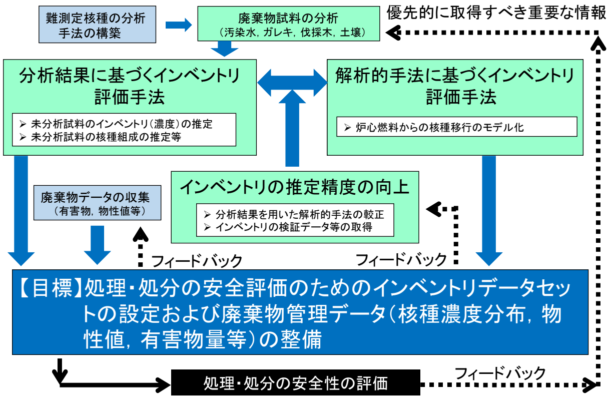

図-7　性状把握に関する研究

廃棄物処分をする際には、どんな核種がどれだけ含まれているのかというのを明確にする必要がある。既存の発電所で発生する廃棄物に対しては統計的な手法（スケーリングファクター法、以下SF法）を適用することにより核種分析する試料数を飛躍的に少なくしている。しかしながら、1Fの場合、様々な汚染形態が想定され、既存の発電所と同様のSF法を適用することはできないことから、SF方法に代わる統計的な手法を確立する必要がある。そのためには、汚染シナリオを想定した解析的な手法を導入するとともに汚染シナリオを裏付けるために分析結果でそれを証明することが必要になる。

分析対象としている核種を**表-2**に示す。これらの核種は、2007年に原子力安全委員会の指針で重要核種として示されている核種、日本原燃の六ケ所埋設センターでの埋設をする際に重要核種として挙げている核種、JPDR解体廃棄物を対象としてトレンチ処分試験の重要核種として選定している核種、を参考にして選定した。

表-2　分析対象核種

γ線核種	: ^{60}Co, ^{94}Nb, ^{137}Cs, ^{152}Eu, ^{154}Eu
β線核種	: ^{3}H, ^{14}C, ^{36}Cl, ^{41}Ca, ^{59}Ni, ^{63}Ni, ^{79}Se, ^{90}Sr, ^{99}Tc, ^{129}I, ^{241}Pu
α線核種	: $^{233, 234, 235, 236, 238}$U, ^{237}Np, ^{238,239,240,242}Pu, ^{241,242m,243}Am, ^{244,245,246}Cm

屋外に飛散したガレキの分析はH23年度から実施しているが、H27年度には原子炉建屋内から採取したサンプルの分析も実施した。原子炉建屋内の分析物としては、1号機・3号機の1階で廃棄物の撤去作業において採取した試料､2号機のオペレーティングフロアでコア抜きをして採取した試料がある。

図-8に建屋内ガレキの分析結果を示す。γ線核種の分析については、1号機の1階、3号機の1階、2号機については、同様な汚染状況になっていることが分かる。ただし、^{60}Co、^{154}Euについては、2号機のオペレーティングフロアは大きくなっている。β線核種

についても同様であるが、γ線各種と同様に2号機のオペレーティングフロアの分析結果が大きくなっている。α線核種については各号機間で大きな違いがあり、1号機、3号機に対して2号機のオペレーティングフロアの分析結果は高い値を示している。これはそれぞれ号機で事故進展が違っていますので、それによって汚染状況が違うということを示唆している。

1F廃棄物の汚染核種評価は、統計的な手法によって評価することが不可欠であると考えている。1Fの場合には、様々な汚染状況があるのでそれらを考慮して複数のファクターを作る必要がある。1つの号機の中でも場所によって汚染状況は異なるし、更に号機間でも汚染状況が異なるので、グループ分けが複数必要になる。

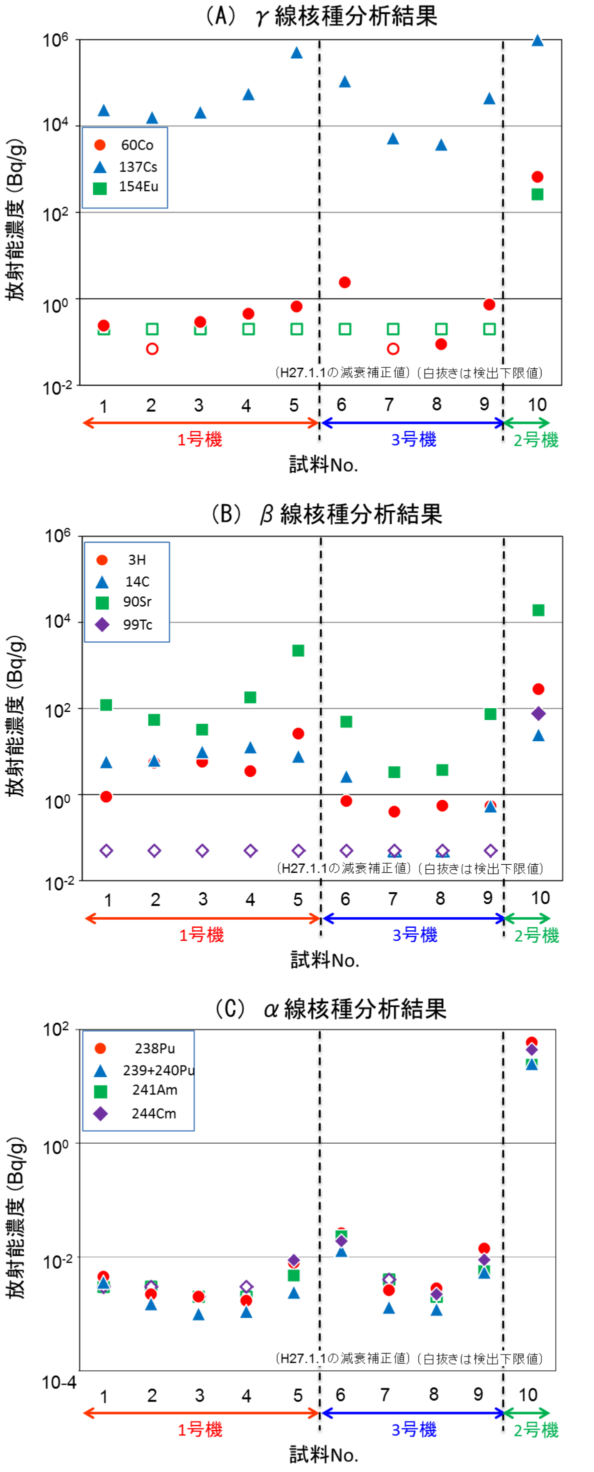

図-8　建屋内ガレキの分析結果

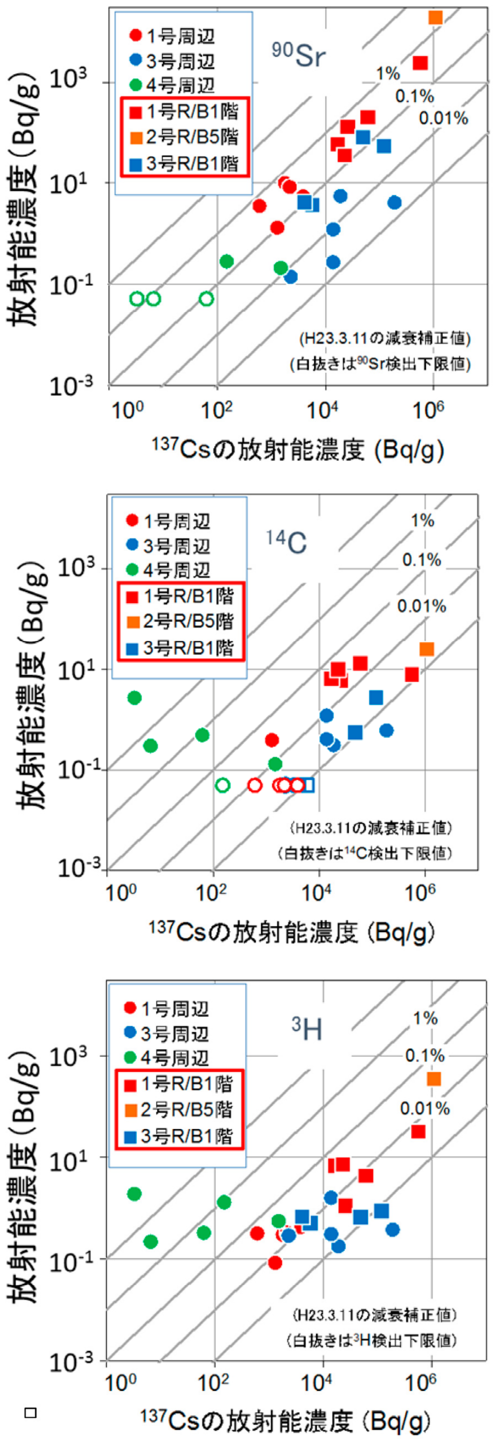

図-9　建屋内部で採取したガレキの^{137}Csと^{90}Sr、^{14}C並びに^{3}H放射能濃度の相関

一般的には、γ線を測定することにより非破壊で評価可能である^{137}Csをキー核種として他の難測定核種を評価することが合理的であると考えられる。**図-9**にガレキの分析結果から^{137}Csと^{90}Sr、^{14}C、^{3}Hの相関を示す。^{137}Csと^{90}Srについては、それぞれの号機で非常に良い相関があることが分かる。しかし、^{14}Cと^{3}Hに関しては、^{137}Csとの相関はほとんどないことが分かる。別の検討結果から、揮発性の核種の^{14}Cと^{3}Hの双方には相関があることが推測できており、^{137}Csをキー核種として評価するだけではなくて、それぞれ相関がありそうな核種についても検討対象としていくことも必要である。

表-3に輸送比という考え方を用いて核種間で汚染の度合いがどの程度異なるか評価した結果を示す。輸送比とは、^{137}Csに対して他の核種がどれだけ移動しやすいか、検出されているかを表す。ガレキの場合、99%以上がγ線核種の影響であり、0.1%がβ線核種となる。また、β線核種はほぼ^{90}Srの影響と考えられる。α線核種の影響については0.0004%程度であり影響度は非常に小さい。

表-3　ガレキ試料の分析データから求めた元素の輸送比

元素	核種	輸送比	備考
H	H-3	0.01	
C	C-14	100	
Co	Co-60	1	
Ni	$^{59, 63}$Ni	≦0.001	不検出であり，Ni-63の検出限界を参考とした。
Se	^{79}Se	~1	不検出であり，土壌への値を参考とした。
Sr	^{90}Sr	0.001	
Nb	^{94}Nb	≦0.001	不検出であり，土壌への値，アクチニドの値を参考とした。
Tc	^{99}Tc	≦0.1	不検出であり，検出限界を参考とした。
I	^{129}I	~1	不検出であり，土壌への値を参考とした。
Cs	^{137}Cs	1	
Eu, Pu, Am, Cm	$^{152, 154}$Eu, $^{238, 239, 240}$Pu, ^{241}Am, ^{244}Cm	≦0.0001	不検出であり，Pu-238の検出限界を参考とした。

推定したガレキの放射能（主要核種の分類）

分類	放射能 [Bq]	割合
γ線核種	1×10^{15}	99%
β線核種	8×10^{12}	0.1%
α線核種	5×10^{9}	0.0004%

図-10に輸送比を使い建屋内ガレキの汚染挙動を評価した結果を示す。γ核種、β核種については、号機が異なっても変動していないのに対して、α核種については2号機が突出して大きいことが分かる。

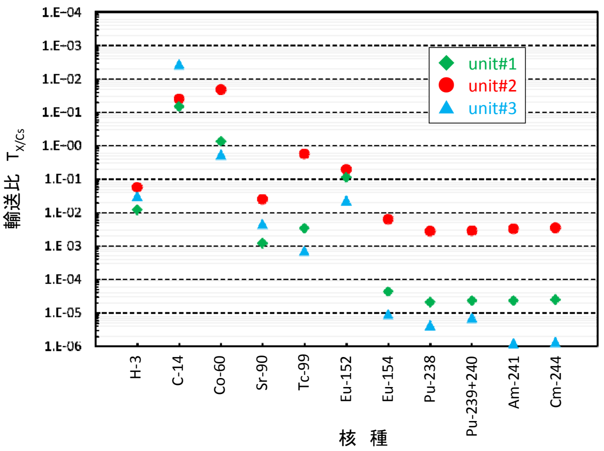

図-10　建屋内部で採取したガレキの汚染挙動評価例

10. 汚染水の二次廃棄物の放射能の分析

セシウム吸着装置（KURION、SARRY）吸着塔やセシウム除去装置（AREVA）は非常に線量が高いために試料を直接採取しての分析は現時点ではできていない。このため、それぞれの処理装置の前段の未処理水と処理装置の後段の処理後水を分析し、その差分からインベントリの推定を実施している。

その方法によりKURIONの吸着核種を推定した結果を**図-11**に示す。測定下限値未満で検出できていない核種も多数あるが、それら核種については、測定下限値の放射能が吸着しているとして保守的に評価している。

図-11において、緑線は各核種の余裕深度処分の基準線量相当濃度を示し、評価値がこれ以下であれば、その核種は余裕深度処分を行う際には影響はないことを示す。結果から、ほとんどのものが下回っていることが分かる。

また、赤線は各核種のコンクリートピット処分の基準線量相当濃度を示し、評価値がこれ以下であれば、その核種はコンクリートピット処分を行う際には影響はないことを示す。コンクリートピット処分の基準線量相当濃度を超える核種は、カル^{41}Ca、^{129}I、^{90}Sr、^{137}Csであった。現時点では、データを保守的に評価している故の評価結果であることを踏まえ、今後は、これら核種に焦点を当てた分析及びより現実的な補正を行うことが必要である。

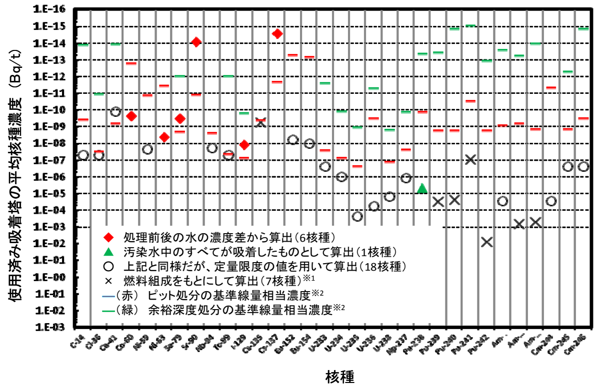

図-11　KURIONの放射能量評価例

ALPSのスラリーについては、**図-12**に示す方法で試料を採取した。HICの上部の開口蓋から採取の治具を挿入して、内部のスラリーを採取している。

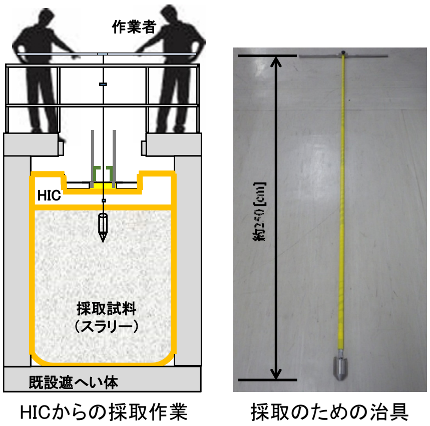

図-12　ALPSからの試料採取

図-13にスラリーの分析結果を示す。スラリーは、鉄共沈によるスラリーと炭酸塩のスラリーの2種類が発生する。既設ALPSからは鉄共沈と炭酸塩のスラリーがそれぞれ発生し、増設ALPSについては炭酸塩のスラリーのみが発生する。

スラリーに含まれる核種は^{90}Srが支配的であり、1×10^6〜10^7Bq/ccの放射能濃度となっている。また、α核種の除去には鉄共沈が効果的であり、Puの濃度は1×10^1Bq/cc程度であった。

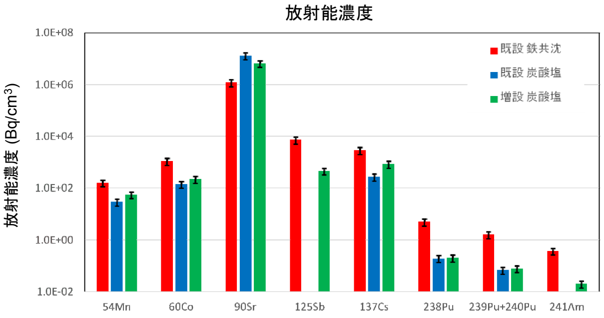

図-13　ALPSスラリーの分析結果

図-14にALPSスラリーの元素組成を分析した結果を示す。

鉄共沈スラリーは、FeO(OH)が主成分であり、SiO_2、Al_2O_3が主な組成として構成されている。炭酸塩スラリーは、$CaCO_3$と$Mg(OH)_2$が主成分として構成されている。

また、炭酸塩スラリーの粒径を評価した結果、既設ALPSのスラリーでは、平均径が7.4μm、メジアン径で6.9μm、最大径は29.4μmであった。また、増設ALPSのスラリーでは、平均径が5.3μm、メジアン径で4.3μm、最大径は26.9μmであった。

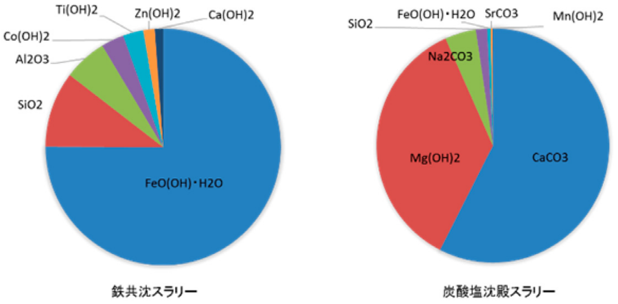

図-14　既設ALPS鉄共沈、炭酸塩沈殿スラリーの元素組成

今後の資料分析を行う際の優先順位については、特にα核種の拡散に関する情報を早期に収集する必要があると考えている。また、吸着材を採取して直接分析ということを目指した取り組みも必要である。

今後分析対象となる試料を採取する場所は線量が高いことから、試料採取に向けて遠隔採取を可能にする必要があると考えている。また、JAEAが大熊町に整備中の分析・研究施設で分析できるタイミングに合わせて試料採取を行っていくことも考慮する必要がある。

11. ALPSスラリーの安定化

ALPSスラリーの安定化に関しては、液体状態で保管を行っている現状の方法ではリスクが大きいため脱水した状態で保管することが必要である。ALPSスラリーは90%以上が水分なので、それを脱水するのに、加熱乾燥方式、フィルタプレス方式、遠心分離方式の3つの方法を検討している。

遠心分離方式だと水の部分と固体成分が分離しないという結果であり、装置開発を含めて対応可能性が高くないことから候補とすることは難しいと考えている。加熱乾燥方式は高い脱水性能を有しているが、乾燥レベルのコントロールが難しく、乾燥し過ぎると非常に細かい粉の状態になり処理後の管理が難しくなる。フィルタプレス方式が現実的な方式であると考えられるが、高線量のβ核種で汚染されているのでメンテナンスの自動化が必要になる。

12. セシウム吸着塔の腐食評価

セシウム吸着塔の保管に関しては、塩分を含有した残水を含んだゼオライトを保管することから、腐食に対する評価が必要になる。吸着塔はステンレス製であり、塩水と接することにより孔食の発生が懸念される。これに関しては、模擬的な装置を作り、塩分の挙動と水分の蒸発の挙動を評価した。吸着塔の中心部は約260℃であり、残水の蒸発過程での塩分濃度の変化を評価した。

図-15に試験結果を示す。

吸着塔底部の塩分濃度は、初期が最も高く水分が蒸発していくにしたがい塩分濃度が低下するという現象を確認した。

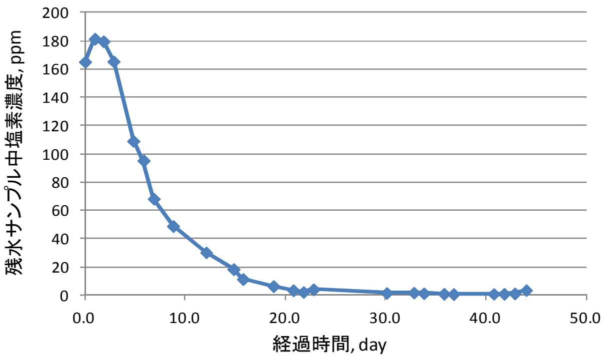

図-15 模擬吸着塔を用いた加熱試験における底部残水の塩化物イオン（Cl-）濃度の変化

セシウム吸着塔の温度の分布は中心部が高く周辺は低くなっているので、蒸発プロセスで底部にあった水は吸着塔中心部分で蒸発して、底部の水に含まれていたセシウムも塩分も中心部分に析出している。吸着塔の上部に移動した水分は、水蒸気となり一部は系外に放出されるが、一部は冷却されて再凝縮して吸着塔周辺部分から吸着塔底部に戻るプロセスになっていると考えられる。吸着塔底部と接している水は、時間の経過とともにセシウムや塩分が浄化され、最終的には真水に近い状態になると考えられます。結果として、塩分によるステンレスの局部腐食は非常に起こりにくい環境であることを示唆している。

一般的にγ線照射によって生成した過酸化水素が腐食を加速するという現象がある。セシウム吸着塔の腐食としては、内部に高線量のCsを保持していることから、放射線影響による腐食の加速についても検討する必要がある。

この影響を評価するために電気化学実験を実施して腐食電位の評価を実施した。その結果、KURION及びSARRYで使用するゼオライトが共存すると腐食電位が下がり、ゼオライトがない条件に比べて腐食しにくくなるということが示された。さらに、ゼオライトが共存することによって放射線による過酸化水素の発生が抑制されるということを確認した。

セシウム吸着塔底部の塩分濃度の挙動、ゼオライト共存による放射線影響の緩和という点から、セシウム吸着塔は非常に局部腐食が起こりにくい状況になっているということが示唆される。

13. 処理に関する検討

処理を考える上では、主にAREVAのスラッジのようなフェロシアン化物が課題になる。AREVAスラッジについて、加熱温度をパラメータとしてCsの放出量を評価した。結果として、約600℃までの加熱であれば、Csの揮発は約1%に抑えられることが分かった。さらに、窒素ガスを送気しながら加熱することで、シアンガス発生についても抑制できるという結果を得た。ただし、約1%の揮発であっても、AREVAスラッジには10^{15}Bq程度のセシウムが吸着されていることから10^{13}BqのCsが放出され、その回収方法が課題となる。

14. 処分に関する検討

処分に関する検討は2017年度までには廃棄物ごとに適用可能な処分概念候補と安全評価手法を提示することを目標に検討を進めている。既存の処分概念（トレンチ処分、ピット処分、余裕深度処分、地層処分）に対しての評価を実施した。

不確定性については、性状把握での実施内容にフィードバックをかけてデータの精度を向上させるということを繰り返し行っていくので、性状把握で得られるデータの質の向上に伴い処分評価の精度も向上する。

現在得ている評価結果の一例として、**図-16**にガレキの基準線量相当濃度の評価結果を示す。現在屋外に保管されているガレキをトレンチ処分した場合を評価している。横線が現時点で想定している廃棄物中の核種濃度の最小値、レファレンス、最大値を示す。また、各シナリオによる基準線量濃度を縦棒で示しており、横線で示した核種濃度（D）が縦棒で示した基準線量濃度（C）を上回っている場合には、そのシナリオでは処分が成立しないことを示す。

リファレンスの核種濃度で考えた場合、TR2（基本土地利用ケース）、TR4（変動地下水ケース）、TR6（変動土地利用ケース）でD/C＞１となることからトレンチ処分は難しいということを示している。今後、核種濃度等の設定条件の精度を向上することにより、不確定性を減らしながら、より既存の処分概念の中でどう展開できるかということを評価していく。

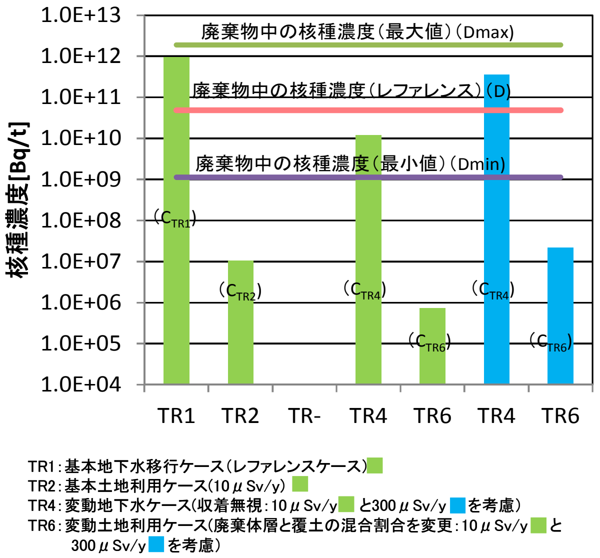

図-16　濃度の成立条件と廃棄物中の核種濃度（^{137}Cs）の比較

15. まとめ

1Fの事故廃棄物を安全に処理・処分する見通しを得るためには、個別研究開発項目の検討に基づく廃棄物ストリームをまとめることが重要になると考えている。そのためには、廃棄物中のインベントリや共存物質に関する情報の整備、汚染水処理廃棄物の処理方法の提示、長期保管対策の提示が必要である。また、個々の廃棄物の処分区分の見通しと処分概念の選定論拠の提示も必要になる。これらを進める上で、現時点では性状把握を進めることにより不確定性を減らしていくことが大事であり、集中的な検討の実施が求められると考えている。

（本稿は、平成27年度第3回原環センター講演会での講演内容を再構成して作成したものです。）

編集発行　公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター
〒104-0052　東京都中央区月島1丁目15番7号（パシフィックマークス月島8階）
TEL 03-3534-4511（代表）　FAX 03-3534-4567
ホームページ http://www.rwmc.or.jp/