

福島第一事故への対処に係る研究開発

環境汚染への対処に係る研究開発

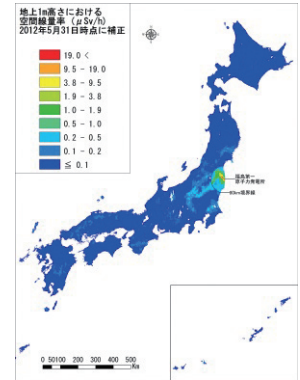
原子力機構は、福島第一事故に関して国や福島県、市町村が実施する事業に対して技術面から様々な活動を継続して行うとともに、被ばく評価・低減化に向けた研究開発に取り組んでいます。

(1) 環境における放射線状況の把握

人体への影響把握や除染計画を策定するために放射性物質の汚染密度や放射線量率を正確に把握する必要があり、継続して環境モニタリングやマッピングを行いました。

① 上空からの放射線モニタリング

日本全域の放射線量を航空機でモニタリングするとともに、福島県内のより詳細な測定を、無人ヘリコプターを利用して実施しました。2012年度は西日本・北海道全域の航空機モニタリングにより、日本全域の空間線量率や放射性セシウムの沈着量の分布を明らかにしました。



全国の空間線量率マップ

② 地上からの放射線モニタリング

2011年6月から福島第一サイトから100km圏内を中心に土壌沈着量分布や空間線量率分布のマップ作成を実施してきましたが、2012年度は、2012年7月から2013年3月にかけて第3次マップ調査を実施、空間線量率などの経時変化の調査・解析を実施しました。

③ 放射線モニタリングデータの情報発信

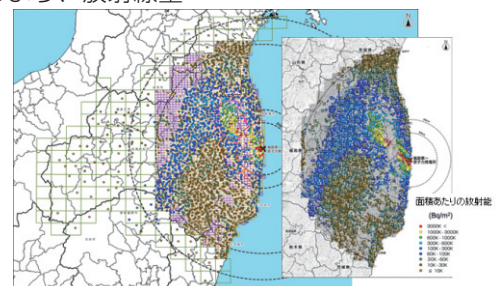
放射線モニタリングデータが一般の方にも容易に閲覧できるように、放射線量等分布マップ及び放射性物質の分布状況等データベースを構築しました。放射線量等分布マップについては2011年10月18日から公開し、放射性物質の分布状況等データベースは2012年9月12日から公開しています。

放射線量等分布マップの URL:

<http://ramap.jaea.go.jp>

放射性物質の分布状況等データベースの URL:

<http://radb.jaea.go.jp>



2011年6月(1次)と
2012年9月(3次)のセシウム137沈着量

(2) 環境回復に向けた研究開発

セシウム137の環境中の動態挙動を把握し、基礎研究を進めることは、より抜本的な環境回復を行う上で重要です。原子力機構は、社会のニーズ等を踏まえ、被ばく評価・低減化を目的として以下の研究開発に取り組んでいます。

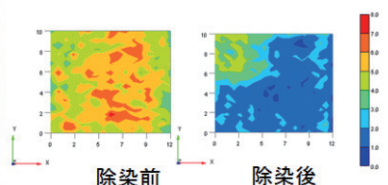
- ・ 環境回復に係る評価研究
 - 現在・将来における生活環境の安全性を評価する研究開発
 - 現在の評価: 環境モニタリング・マッピング技術の高度化
 - 将来の評価: セシウム将来予測モデリングとセシウム移動抑制
- ・ 環境回復に係る技術開発
 - 安全な生活環境を取戻すための技術開発
 - メカニズム解明: セシウムの吸脱着過程の解明
 - 除染技術開発: 除染技術の高度化
 - 減容技術開発: 除去物・災害廃棄物の減容方法の開発



無人飛行機

① 環境モニタリング・マッピング技術の高度化

無人ヘリコプターによる放射線モニタリングが短時間、広範囲に測定でき、セシウム134、セシウム137の直接測定システムの開発を行い、河川敷にセシウムの有意な沈着を確認する等放射性物質の移行に関するデータを採取できました。また、無人ヘリコプターによる福島第一上空の測定を行い、その結果は、国土交通省による民間航空機の福島第一3km圏内飛行禁止の解除の判断に使われました。



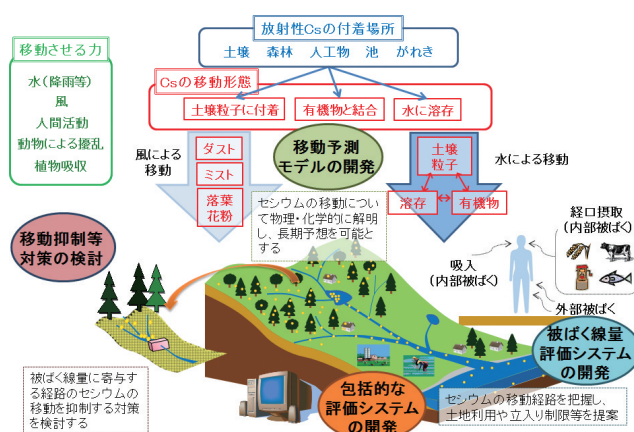
PSFによる線量率測定例

無人ヘリコプターよりも飛行速度が速く、長時間、広範囲を飛行できる無人飛行機や周辺海域や湖沼の底の放射性物質濃度測定を行う水中放射線検出システムの開発等も行っていきます。

一方、プラスチックシンチレーションファイバ (PSF) を用いた放射線検出器 (p-Scanner) や地表面及び地表面から 1m の高さの放射線を同時に測定し、位置情報も記憶する「ガンマプロッタ」の開発を行い、放射線の分布状況の可視化が迅速かつ簡単にできるようになりました。

②セシウム将来予測モデリングとセシウム移動抑制

セシウムをはじめとする放射性物質の環境中での動きを観測し、その結果に基づいて動きを予想し、放射性物質の移動抑制や回収等の対策を講じたり、除染計画策定への基礎的情報を提供したりするための研究を実施しています。本研究は、放射性セシウムの移動予測モデルの開発、被ばく線量評価システムの開発、移動抑制等の対策の検討、包括的な評価システムの開発の4つの柱からなっています。2012年度から開発に着手し、河川域を対象とした比較的線量の高い地域でのデータ収集等を行っています。



セシウム将来予測モデリングとセシウム移動抑制研究の概要

③セシウムの吸脱着過程の解明

福島県の土壌等を対象に、放射光、中性子分光、電子顕微鏡などを用いる分析により、吸着モデルを構築し、吸着モデルと分子動力学計算によりセシウムの吸脱着反応をシミュレーションし、溶液化学実験等と組み合わせ、セシウムの剥離法を開発しています。2012年度は、シミュレーション等により、土壌中の鉄などと置き換わった吸着サイトにセシウムが強く吸着しており、この特性を踏まえた剥離法が開発が有効であることがわかりました。

④除染技術の高度化

100mSv/y 程度の高線量地域を効果的に除染する技術として超高圧洗浄システムの高度化とその実証試験を行いました。洗浄時の水圧、水量等の条件の最適化と除染に用いる洗浄ヘッドの開発により、作業効率の向上が図られ、本システムは環境省が定める除染の標準工法に指定されました。また、所期の目標を達成し、簡便な捜査によって除染方法、除染費用、空間線量率等の予測シミュレーションが可能なシステムを開発し、2013年度より試運用をすることとしています。さらに、大量で多種多様な除染技術情報を、PC、スマートフォン等を用いて一般の方が利用できるポータルサイト「除染技術情報ナビ」を制作しました。2013年5月に原子力機構のホームページにて公開しています。(http://c-navi.jaea.go.jp/ja/)



「除染技術情報ナビ」画面

⑤除去物・災害廃棄物の減容方法の開発

燃焼シミュレーションにより一般焼却炉における灰の生成過程、セシウムの凝集過程を解析することによりスケールアップに向けた焼却時の放射性セシウムの挙動評価を行うとともに、廃棄物の分別負担が少なくコンパクトな排ガス処理系を有する高線量向け減容技術の開発を行っています。2012年度は災害廃棄物の焼却処理時に発生する排気中のセシウムの挙動を把握するための焼却炉内のばいじんとセシウムの挙動をシミュレーションできるコードを開発しました。

(3) 福島地区における関係機関との連携・協力

①国等が行う除染活動への支援

放射性物質汚染対処特別措置法に基づき除染特別地域の指定を受けた除染特別地域は国が、汚染状況重点調査地域の指定を受けた除染実施区域は市町村により本格除染が進められています。原子力機構は除染を実施する国や市町村に対してそれぞれ技術面から2,530件(2013年5月末)の相談を受ける等の支援を行いました。

②全身カウンターによる住民の内部被ばく測定

福島県民の健康調査の一環として、福島県からの受託により 2011年7月から原科研、サイクル研の全身

カウンター（WBC）及び移動式全身カウンター車を用いて福島県民の内部被ばく測定を実施しています。開始以来、これまで（2013年5月末）に約42,000人が測定を受けています。

③福島県内のコミュニケーション活動

福島県内の保育園、幼稚園、小中学校の児童・生徒の保護者や先生方を主な対象に、「放射線に関するご質問に答える会」（答える会）を実施しました。答える会は、2011年7月に開始し、2013年3月末までに220回を開催しました。また、子どもの生活空間の線量低減化に優先して取り組む「チルドレンファースト」の考え方にに基づき、文部科学省に協力して学校等が行う校舎や遊具等の除染活動に放射線や除染の専門家を派遣し、技術的な助言や指導等を行う活動を実施しました。

④警戒区域への住民の一時立入りの支援

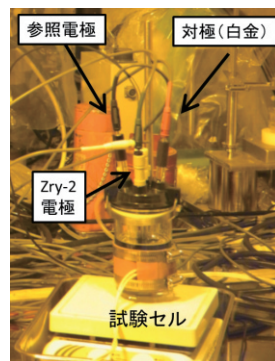
福島第一の半径20km圏内の警戒区域への住民の一時立入りを支援するために、住民の線量の結果に関する問合せ対応や安全管理者として現地まで同行するなどの対応を実施しました。

福島第一の廃止措置等に向けた研究開発

原子力災害対策本部東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議の方針等を踏まえ、福島第一の廃止措置及び廃棄物の処理・処分に向けた課題解決として、使用済燃料プールからの燃料取り出し、炉内で損傷した燃料等（以下「燃料デブリ」という。）の取り出し準備及び放射性廃棄物の処理・処分に係る各々の課題の解決を図るために必要とされる技術及び横断的に検討する必要がある遠隔操作技術について、基盤的な研究開発を実施しています。

①使用済燃料プールからの燃料取り出しに係る研究開発

海水にさらされた燃料集合体の長期保管に向け、燃料集合体部材の腐食及び強度低下を評価するため、原子力機構内に保管していた福島第二原子力発電所及び「ふげん」の使用済燃料を用いて、ジルカロイ製被覆管等の耐久性評価に係る基礎試験を実施しました。この結果、事故後の使用済燃料プールの水質環境において、腐食発生及び強度低下の可能性が低いことを確認するとともに、水処理対策が有効であることを裏付ける基礎データとして活用されました。



ジルカロイ製被覆管の腐食試験

②燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発

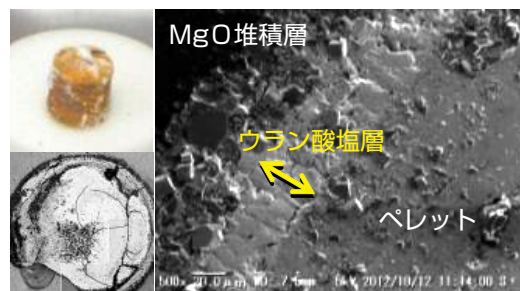
【炉内構造物の切断技術】

原子力機構が有する各種切断技術（プラズマジェット、プラズマアーク、アブレシブウォータージェット、レーザー）について、試験装置の整備及び模擬試験体を用いた性能確認試験等を実施し、各切断技術の性能比較評価をとりまとめ、福島第一現場への適用に向けた開発課題を整理しました。

【燃料デブリの特性把握、処置検討】

燃料デブリの生成条件と性状の相関を調査するため、ウランと炉内構成材料との高温反応試験を行い、生成物の特性データを取得しました。燃料デブリ取出しツール等の開発に向け、新たに取得すべき物性を整理するとともに、模擬燃料デブリを作製して機械特性データを取得しました。

燃料デブリ処置方法の検討として、スリーマイル島原子力発電所2号炉（TMI-2）の事故事例を参考に全体シナリオ概念を整理するとともに、分析、処理技術に係る各種試験の結果、U/Zr系模擬デブリにアルカリ融解処理を施すことにより硝酸に可溶性化合物に分解可能であることが確認され、さらにZr比率が大きいほど硝酸による溶解速度が低下する傾向が見られました。



海水塩とともに加熱した模擬デブリペレットの外観と断面

【燃料デブリの臨界管理技術】

燃料デブリの取出し時における臨界安全確保のため、燃焼度、構造材の混入割合、水分量等をパラメータとして解析を行い、未臨界担保において重要な最小臨界量を算出しました。

また、未臨界監視技術開発のために、水中における燃料デブリ近傍の中性子及びガンマ線量を計算し、代表的な中性子検出器の応答特性及び遮蔽材の効果を確認しました。さらに、燃料デブリの臨界特性に係る臨界実験の準備として、定常臨界実験装置（STACY）更新に向けたモックアップ試験を行う等により、給排水系設備の詳細設計に必要な基礎データを蓄積しました。

燃料デブリを1点で代表する一点炉近似に基づく再臨界挙動解析システム（PORCAS）を整備し、福島第

一廃止措置等に向けた研究開発計画において、再臨界時挙動・影響評価を進めている「デブリの臨界管理の技術開発」に活用されました。

【解析技術による炉内状況把握】

解析コードによる事故進展解析を進め、事故進展や環境への影響評価において重要な現象や不確かさ因子の抽出を行うとともに、解析コードを改良しました。

経済協力開発機構 / 原子力機関 (OECD/NEA) ベンチマークプロジェクトに加盟し、運営機関としてプロジェクトの管理を行いました。

事故進展の詳細分析に必要な炉心内温度分布 (熱水力挙動) に関するデータを取得するため、炉心下部の制御棒案内管等を模擬した試験を実施し、沸騰水型原子炉 (BWR) に特有な下部構造物における溶融物の分散挙動に関する知見を取得しました。また、炉心下部の損傷状況をより詳細に推定するための詳細解析モデルを構築するとともに、事故時の燃料損傷及び溶融進展評価のための試験装置を製作し、次年度における試験環境を整備しました。

事故時の燃料溶融に関し、U-Zr-O 三元系状態図の再評価やデブリの化学的挙動への海水影響について、熱力学データベースの整備を進めるとともに、OECD/NEA の国際汎用熱力学データベース整備プロジェクトにおいてレビュー作業に協力しました。

【燃料デブリの計量管理】

燃料デブリに適用する合理的な計量管理手法を構築するため、米国エネルギー省 (DOE) との保障措置協力取決めに基づく共同研究契約を締結し、双方で福島第一に適用可能性のある核燃料物質測定技術をリストアップするとともに、その適用性を評価するための項目を検討しました。

燃料デブリに適用可能性のある核物質測定技術について基礎試験を実施し、デブリ組成、形状、空孔率、線源偏在などが測定に与える影響を確認しました。

チェルノブイリ事故や TMI-2 事故における核物質管理に関する情報を整理し、福島第一事故の状況と比較することにより、多様なデブリの生成や制御棒材料の混在による測定の困難性等の課題を抽出しました。

③放射性廃棄物の処理処分に係る研究開発

汚染水処理による二次廃棄物中の放射性核種組成等を評価するため、福島第一から搬送した試料についての核種分析等を実施するとともに、吸着塔内のセシウム分布状況を解析及び実験により推定し、汚染水処理による二次廃棄物 (ゼオライト、スラッジ等) 中のインベントリ評価や長期保管方策、処理処分検討に資するデータを取得しました。また、福島第一から発生する放射性廃棄物等の処理処分における安全性やシナリオの検討を開始しました。

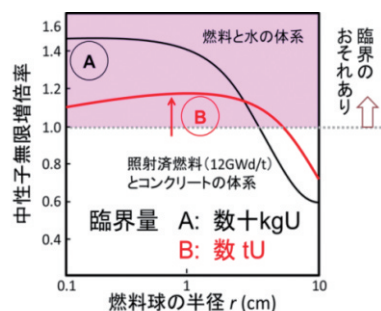
汚染水処理に用いたゼオライト、スラッジの長期保管における安全確保のため、保管容器材料の腐食試験等により、耐食寿命の評価に必要な基礎データを取得するとともに、吸着塔内の温度・水素濃度解析やスラッジ貯蔵設備の熱流動解析により、現状の保管方策の妥当性を確認しました。

二次廃棄物の廃棄体化技術検討として、セメント固化、ガラス固化、圧縮成型固化等、既存の廃棄体化技術に関し、適用性を検討するとともに基礎試験を行い十分な強度を有する固化体を作成できることを確認しました。

④廃止措置等に必要な遠隔操作技術に係る研究開発

福島第一 1 号機の床及び壁、2・3 号機の床から採取したコンクリートコアサンプル試料や建屋内の床、壁等を模擬した試料の分析試験を実施し、汚染が床表面塗膜近傍に留まっていることなど、汚染の広がりや形態に係る基礎的な知見を取得して、福島第一廃止措置等に向けた研究開発計画における遠隔除染計画立案に向け、建屋内の汚染状態や除染計画の指標のとりまとめに貢献しました。

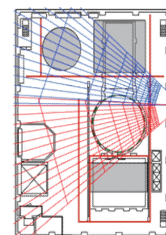
東京電力株式会社からの依頼を受け、福島第一 2 号機原子炉建屋 5 階フロアの汚染状況調査として、原子力機構が開発したガンマカメラを用いた現地事前試験及び本測定を実施し、特に原子炉ウエル上部の汚染が著しく、そのレベルは約 10M ~ 100MBq/cm² の範囲であることを示すと同時に、別途実施された遠隔操作ロボットによる線量測定結果と対比できる貴重なデータを得ました。



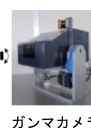
燃料とコンクリートの体系の計算例



取得したデータの例
(東京電力ホームページより)



測定のイメージ
(東京電力ホームページより)



ガンマカメラ