

明日へ 向けて

私たちの取組み

令和元年
5月

No.15

02 福島研究開発部門成果報告会

08 Topics福島

15 ふくしまふるさと散歩みち





若手研究者の挑戦 福島研究開発部門の成果報告会を開催

日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)福島研究開発部門は、平成31年2月20日(水)に平成30年度「福島研究開発部門成果報告会」をいわき市内のいわき芸術文化交流館アリオスで開催いたしました。東京電力ホールディングス福島第一原子力発電所(以下、1F)の廃炉の推進、環境回復に向けた研究開発成果を一般の方々に報告することを目的に、毎年開催しています。

今回は『若手研究者の挑戦』をテーマに、6人の若手研究者に加え、原子力機構と連携協力関係にある福島大学、福島工業高等専門学校(以下、福島高専)の学生も報告いたしました。参加者は約400人に及び、福島の復興に情熱を傾けて努力を続ける若手研究者の研究開発成果報告に熱心に耳を傾けていました。



「開会あいさつ」

児玉 敏雄 理事長

東日本大震災から8年が経過しました。1Fの廃炉は、2号機で炉内の燃料デブリに直接触れる調査が始まるなど、最大の課題である燃料デブリの取出しに向けた作業が着実に進捗しています。原子力機構は1F事故直後から県内の除染や放射線計測の分野で対応してまいりました。前例のない困難な課題に挑戦し持続していくためには若手の育成が重要になります。今回の研究開発成果報告やポスターセッションなどを通じて福島の復興・復旧に向けて取り組んでいる若手研究者の挑戦の様子を身近に感じて下さるようお願いいたします。

「招待講演」

伊藤 泰夫氏 公益財団法人福島イノベーション・コスト構想推進機構専務理事兼事務局長

研究開発成果報告に先立ち、公益財団法人福島イノベーション・コスト構想推進機構の伊藤泰夫専務理事兼事務局長から「福島イノベーション・コスト構想について」と題して講演を頂きました。

伊藤氏は、2014年に取りまとめた福島イノベーション・コスト構想は、浜通り地域等の産業を回復するため、新たな産業基盤の構築を目指していることを紹介し、廃炉、ロボット、エネルギー、農林水産等の重点分野におけるプロジェクトの具体化を進めていることや、さらに、産業集積や人材育成、交流人口の拡大等に取り組んでいることも紹介されました。

また、福島県が2040年頃を目指すように、県内で使うエネルギーの全てを再生可能エネルギーで賄うという計画を立てていることも紹介し、福島水素エネルギー研究フィールドや県が主導した送電事業会社の立上げ、風力発電のプロジェクトの状況についても説明されました。さらに県内外の大学が自治体等と連携して実施する研究活動などへのサポートを積極的に実施していることも強調されました。

若手研究者に期待することとして、福島イノベーション・コスト構想との関係を意識し、積極的に情報を発信することの大切さを訴え、「研究開発の成果で地元経済の活性化の原動力となるとともに、地域との交わりによる地域活動の活性化、特に未来を担う子供たちと交流し、廃炉・復興をけん引する憧れの存在となることを期待しています。」と呼び掛けられました。



「活動報告」

宮本 泰明 企画調整室長

続いて、若手研究者の発表前に、宮本泰明企画調整室長が福島研究開発部門の活動状況に関して、2014年に福島研究開発部門が設立され、楢葉遠隔技術開発センター、廃炉国際共同研究センター、大熊分析・研究センターの運用を始め、福島環境安全センターで研究開発が進められている経緯について説明をいたしました。

さらに研究開発については、国が策定した中長期ロードマップの工程と整合性を取りながら進めている状況を説明し、「今後も国内外の研究機関と連携を図り、基礎研究から応用研究、実用化まで多彩な取組みを実施しています。持続的な人材育成の基盤整備にも積極的に取り組んでまいります。」と展望を述べました。

■若手研究者からの成果報告

「事故進展を考慮した模擬燃料デブリの凝固挙動評価」

須藤 彩子 廃炉国際共同研究センター

燃料デブリを実験室で模擬的に作製し、それらの性状把握を目的とした研究開発を行っています。

1Fの事故が発生し、1、2、3号機では核燃料が溶融し原子炉内に溶けた燃料等が固まった「燃料デブリ」が残留しており、それを取り出すための手順として現在、格納容器内部の調査が実施されていますが、燃料デブリ性状を事前に把握することは今後の取出しに向け極めて重要です。

私の研究テーマの1つは、圧力容器に堆積した燃料デブリの性状調査に関する実験です。数十トンとも言われる溶融



物は、表面が固化した後も内部は高温を保ち、徐々に固化していくと考えられています。このような遅い凝固を経た燃料デブリのデータはこれまでに取得されていません。そこで、模擬燃料溶融物を最大約3000℃で加熱し溶融させ、徐々に凝固させる実験を行い、その実験の結果、遅い凝固を経た模擬燃料デブリ中では、内部に大きな空洞が形成されることが明らかとなりました。1Fでも同じ状態であると推測でき、今後の燃料デブリを取り出す時の機器選定等への活用が期待できます。

2つ目の研究テーマは、コンクリートと溶融燃料の反応物の性状を調査することです。高温の模擬燃料溶融物と低温のコンクリートを反応させ、溶融物/コンクリート間の階層構造およびウランの侵入深さを観察しました。実験の結果、溶融物とコンクリートの界面付近では、場所によってウランが深く入り込む可能性が示唆されました。

これらの実験で得られた情報は、今後、実機によるサンプリングの情報等と合わせ燃料デブリ取出しへの活用が期待できます。今後とも燃料デブリ取出しに向けた性状把握研究に邁進していきます。



「廃棄物の分析から分かってきた放射性核種による汚染」

高畠 容子 廃炉国際共同研究センター

1Fで発生している放射性廃棄物は、事故により管理できない状態で汚染が生じたこと、炉心燃料を起源とする汚染であることから、通常の原子炉の廃止措置で発生するものは汚染の状態が異なります。また、汚染の範囲が広く、高い線量率の場所もあり、放射性廃棄物の性状の把握には、時間と手間が必要となります。廃止措置の作業は現在も不断に続けられているために、最終的な発生量の推定が難しい状況にあります。一方で、放射性廃棄物を安全に処理・処分するためには放射性廃棄物の物理的、化学的性質や含まれる放射性核種の種類、量に関する情報が不可欠です。

原子力機構では、1Fサイト内で様々な汚染物、放射性廃棄物の試料を採取・入手し、放射性核種の濃度などを分析しています。分析データは少しづつですが蓄積しており、得られたデータを元にして、放射性核種による汚染状況の推定を試みています。推定の結果を用いて、放射性廃棄物に含まれる放射性核種の種類や量を評価することで、廃棄物の処理・処分の方策の検討に役立てることができます。

放射性核種による汚染状況の推定には、汚染源から分析試料へ放射性核種が移行した割合を表す輸送比という量を利用しています。これまでに、1号機の原子炉建屋の1階と5階、タービン建屋地階から採取した瓦礫の放射性核種の汚染の違いを検討しました。その結果、原子炉建屋5階は、トリチウム汚染のはらつきが1階に比べて多いことが判明しました。タービン建屋地階では、コバルト、ウラン、プルトニウムの放射性核種が、セシウムに比べて建屋内に残留しやすいものと予想されました。これは、滞留水による汚染の影響と考えられ、汚染の発生メカニズムとして、水と空気を経由した放射性物質の移行を考える必要があることがわかりました。

「廃炉作業における遠隔マニピュレータ用のVRシミュレータ開発」

大野 貴裕 檜葉遠隔技術開発センター

檜葉遠隔技術開発センターは、1F廃炉作業を推進するため遠隔操作ロボットの研究開発を行っています。また、福島イノベーション・ココスト構想におけるロボット開発、災害用ロボットの技術開発などにも取り組んでいます。

1Fの作業場所は放射線量が高く、直接人が作業できないところもあるため、マニピュレータによる遠隔操作で作業を行う必要があります。しかし、マニピュレータの実機を取扱う訓練はコストが掛かり、破損させてしまう恐れもあることからバーチャルリアリティ(VR)によるシミュレータを開発しました。

開発による利点としては、仮想空間内でも現場にいると同様の操作時の距離感を習得でき、また低コストで実機を破損さ



せることもないため効率的な訓練を行うことができます。実際に実機を操作する方々に体験してもらったところ、初期の操作訓練として有効的なツールであり、また、最適なカメラの配置が可能となるということが挙げられました。一方で、実機との相違があることも指摘されました。

この指摘を受けて、操作機を実機と同一仕様へ変更するなどして精度の向上を図っています。実機とシミュレータで同じ作業を実施し、計測データを比較したところ、データには多少の差異が認められるものの、シミュレータの良好な性能を確認できました。

今後、1Fで進められる燃料デブリの取出し作業など他のプロジェクトに応用されることが期待されます。



「大熊分析・研究センター第1棟運転開始に向けた 分析技術開発について～放射性核種の迅速分析技術の開発を中心～」

堀田 拓摩 大熊分析・研究センター

大熊分析・研究センター放射性物質分析・研究施設第1棟は、2020年度末頃の運用開始を目指して建設が進められています。第1棟においては、ガレキ類や焼却灰などの個体廃棄物に含まれる放射性核種の分析を通して、廃棄物の性状を把握し、1Fの円滑な廃止措置に貢献することを目的としています。

第1棟では、1試料あたり38種類の放射性核種の分析を予定しています。それらの分析結果により、個体廃棄物中の放射性核種の移行挙動等を究明します。

38種類の放射性核種の分析には、多くの手間と時間が掛かります。そして、1Fには性状も形態も様々な廃棄物が大量に存在します。それらの廃棄物の分析を円滑に実施するために、我々は効率的なサンプリング技術や測定前処理操作の自動化技術、β線を放出する放射性核種分析の迅速化技術の開発に取り組んでいます。

ここでは、β線を放出する放射性核種の分析を簡素化・迅速化させることを目的とした、誘導結合プラズマ質量分析法(以下、ICP-MS法)を用いた迅速分析法の開発に関する取組みについて紹介します。ICP-MS法とは、プラズマにより物質をイオン化させ、イオンの質量により弁別して、そのイオンの数を計数する測定法です。測定装置が分離機能を有し、高感度かつ短時間で分離測定できます。しかしながら、同じ質量のイオン(同重体など)を装置で分離できないため、測定前の分離操作が必要となる課題があります。

この課題を解決するため、新型のICP-MSであるタンデム型ICP-MS(以下、ICP-MS/MS)を用いた迅速分析法を提案しました。ICP-MS/MSは酸素ガスなどのリアクションガスと、測定するイオンや測定の妨害となるイオンとの化学反応性の差を利用して、妨害となるイオンを装置上で分離測定できます。これまでジルコニウム93分析の迅速化が期待できる結果が得られています。

今後は実試料への適用を目指して研究開発を進めていく方針です。

「湖沼等の底質中の放射性セシウムの深さ分布の可視化」

越智 康太郎 福島環境安全センター

福島県内には約3700カ所以上のため池があり、農業用水として利用されています。放射性セシウムはため池に留まる傾向があり、営農再開に向け、ため池の底に堆積した放射性セシウムの濃度を把握することは喫緊の課題です。ため池の底に堆積した放射性セシウムの濃度を把握する上で、従来の手法では、ため池の代表地点で直接、底質(池の底に溜まった泥)試料を採取し分割、乾燥、分析、解析の手順を踏むため、1つのため池で20カ所を測定する場合、モニタリングには1、2週間ほど必要となります。

この問題を解決するため、原子力機構では、放射線検出器でγ線スペクトル測定を行うことで、迅速かつ簡便にため池全



体をモニタリングできる手法を開発しました。本手法を用いることで、1つのため池で20カ所を測定する場合、モニタリングは、測定と解析の工程のみで、1、2日ほどで完了することができます。また、表層の放射性セシウム濃度と放射性セシウムの深さ分布の両方の情報を同時に取得できます。

本手法の推定結果(表層の放射性セシウム濃度と放射性セシウムの深さ分布)と、実際に採取した底質試料の結果とを比較したところ、まず、現場で測定したγ線スペクトルの解析結果と、底質試料中の放射性セシウムの分布(表層の放射性セシウム濃度と放射性セシウムの深さ分布)との間に良好な相関関係がありました。これにより、現場でγ線スペクトルを測定することで、表層の放射性セシウム濃度と放射性セシウムの深さ分布を推定できることを確認しました。

本手法の推定結果の精度を、実際に採取した底質試料の結果と比較して評価したところ、推定結果(表層の放射性セシウム濃度と放射性セシウムの深さ分布)のうち77%の結果が、実測試料の結果の±50%以内であることが分かりました。この結果から、本手法は広いため池の中で放射性セシウム濃度が高い場所の推定をするための方法として有効であると考えられます。

精度を確認した本手法を現場に適用するために、大きなため池内の42地点でγ線スペクトル測定を行いました。本手法によって、底質試料を採取することなく、底質表面でγ線スペクトルを測定することで、広いため池であっても全体の放射性セシウム濃度と放射性セシウムの深さ分布を迅速に知ることができ、放射性セシウムの3次元的な分布を可視化することができました。



「森林内で放射性セシウムは、どのように動いているのか？」

佐々木 祥人 福島環境安全センター

1Fの事故により地表に沈着した放射性セシウムの約70%が森林に分布し、住居近くの森林を除き除染される予定は現在のところありません。

事故当初、放射性セシウムは落ち葉などの落葉層に存在しましたが、土壤中の粘土鉱物に強く吸着する特性があるため、時間の経過とともに土壤表層に含まれる割合が増加しました。落葉層においても放射性セシウムは一定の割合で存在しますが、これは植物に取り込まれた放射性セシウムが落葉として地面に降下しているためであると考えられます。生物に取り込まれやすいのは水に溶けた溶存態放射性セシウムです。植物内部の溶存態放射性セシウムの動きを調査するため、川俣町山木屋地区でウリハダカエテを対象に放射性セシウムの分布を調査しました。樹皮において最も放射性セシウムの濃度が高く、樹木内部の木部は樹皮の約1/10程度の濃度でした。一方、事故後に生じた枝葉において放射性セシウムが樹皮よりやや低い濃度で検出され、それらの部分に移行していることが示されました。

木部の中を流れている樹液を採取したところ、放射性セシウム濃度は森林の雨に含まれる放射性セシウム濃度(0.1Bq/L、すなわち飲料水基準の100分の1)よりも2桁近く高い値でした。この樹液に含まれる放射性セシウムが枝や葉に移行しているものと考えられます。

川俣町山木屋地区で、落葉と近くに生息する落葉分解性キノコの放射性セシウム濃度を測定しました。落葉とキノコは、ほぼ同程度の濃度であり、落葉からキノコへ放射性セシウムが移行しているものと考えられます。落葉から溶出してきた液体中の溶存態放射性セシウム濃度を調べたところ、その放射性セシウム濃度は森林内の雨に含まれる濃度より2桁高く、さらに落葉を65日間培養して得られた溶出液の濃度はやや増加し、落葉分解などにより落葉からの放射性セシウムの溶出が進んだ可能性が考えられます。

今後は、放射性セシウム濃度変化の予測に役立てるため、地下を含めた森林全体の放射性セシウムの動きの解明を目指します。

「質疑応答」

報告会終了後の質疑応答の場において、「若い研究者の皆さんのが大変な苦労をして研究開発をしていることが分かりうれしく感じました。専門用語や数値の考え方方が分からないので、一般的の市民にも分かり易く話されると助かります。福島の現状が他国と比べてどうなのか、という視点で説明して頂けると安心できると思います。」という意見が出されました。

宮原要福島環境安全センター長は「研究開発成果を一般の方々にお伝えすることが重要だと考えていますが、お伝えする方法には改善の余地があると思います。先行事例を踏まえて比較検討をしながら研究開発に取り組んでまいります。」とお答えいました。

「連携協力報告・ポスターセッション」

今回の報告会では、原子力機構と連携協定を締結している福島大学と福島高専のご協力を頂きました。

福島大学大学院の尾形洋昭さんは「カスケード型ICP-MSによる放射性ストロンチウムと放射性ヨウ素の同時定量分析」をテーマに、ストロンチウム90とヨウ素129を同時に定量分析するため、液体と気体と一緒に導入できる新しいチャンバーシステムを開発した

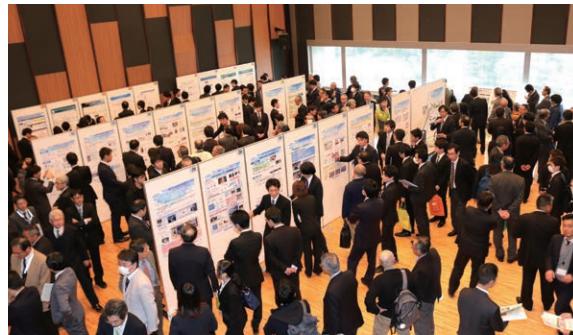
ことを報告されました。



尾形 洋昭さん



大間 元さん



また、福島高専の大間元さんは、除染廃棄物の搬送に対する地域住民の不安を解消するため、軽量で高強度、遮蔽能力の高い遮蔽材の開発に取り組んだ成果として、ダンボール構造の複合材(ガラス繊維)を用いた新たな遮蔽材を開発したことを報告されました。

会場では原子力機構や福島大学、福島高専の研究成果ポスターを展示しました。日常生活における被ばくに関する報告のコーナーでは「他県の人から福島の食物は大丈夫かと聞かれことがあります。現状はどうなのですか」などの質問が寄せられ、説明者が来場者にご説明をしていました。

さらに放射線測定に活躍している無人ヘリコプターVRの体験コーナーが設置され、来場者の注目を集めました。

「閉会あいさつ」

野田 耕一 福島研究開発部門長



廃炉作業は数十年もの長期に渡り困難が予想されます。若手研究者の力が必要であり期待されています。自らの言葉でプレゼンテーションし、一般の方々から忌憚のない意見を頂くことは非常に貴重な経験となります。今後も廃炉の研究開発、環境回復、福島の復興に全力で取り組んでまいりますので、皆様方のご支援、ご協力方よろしくお願ひいたします。

当機構の研究・開発へのご支援をお願いします！



寄附金募集 **[HP]** https://www.jaea.go.jp/about_JAEA/fdonation/

お問い合わせ先

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 財務部寄附金担当

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字舟石川765番地1

TEL.029-282-4059 (寄附金専用窓口) E-mail:zaimukikaku@jaea.go.jp



会議の様子

2019.1.31 No.89

廃炉遠隔技術の高度化に向けて

廃炉国際共同研究センターが国際会議を開催

■ 待望されるロボット技術の応用拡大

東京電力ホールディングス福島第一原子力発電所(1F)の廃炉に向け、過酷な放射線環境下で現場作業者の被ばく線量を低減、遠隔技術やロボティクス高度化への期待が集まっています。

今後、1F廃炉でのロボット技術の運用拡大に向けて、高放射線場でも作業できるための電子機器の耐放射線性の向上や、1F建屋内の狭窄部や水中という過酷な条件でも作業できる適応力が求められています。さらに、燃料デブリの取出しに向けて、1Fの高放射線場での放射線イメージングや核燃料デブリの検知に資する、放射線計測および位置認識・周辺環境の把握のための技術開発に取組むことが必要となっています。

■ 第5回FRCを開催

このため、廃炉国際共同研究センター(CLADS: Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science)では、平成30年11月26日、27日の二日間に亘り、福島県双葉郡富岡町にある「富岡町文化交流センター学びの森」において、今後、廃炉を推し進めていく上で必要となる「廃炉遠隔技術のための耐放射線化、運用技術及び計測技術の高度化」と題した平成30年度第5回福島リサーチカンファレンス(FRC: Fukushima Research Conference)*を開催しました。遠隔機器、半導体デバイス、材料、放射線計測に関する幅広い専門家を交えて、廃炉遠隔技術の高度化に向けた将来展望を議論することに加え、特に、将来を担う人材育成の必要性から、国際教育プログラム(OECD/NEA NESTプロジェクト**)の一環として、学生ポスターセッションを設けることで、国内外の若手研究者の参加を積極的に募りました。今回のFRCでは、米国や欧州、豪州などの海外からの研究者も含め二日間で延べ330名が参加しました。

■ 熱気の籠る講演が展開

初日の開会にあたっては、2件のオープニング講演が行われました。

先ず、OECD/NEA次長のダニエル・イラカン氏から、OECD/NEAの原子力の教育、技能、科学技術に関する枠組みであるNESTプロジェクト**についての講演がありました(右写真)。



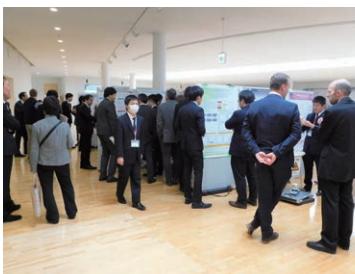
続いて、CLADSの岡本孝司センター長からは、CLADSで取り組んでいる研究開発の総論と本会議の開催趣旨について説明がありました(右写真)。



さらに、本FRCのテーマである「廃炉遠隔技術のための耐放射線化、運用技術及び計測技術の高度化」の理解に必要な基本知識を市民ならびに専門家に向けて発信することを目的に基調講演を行いました。ここでは、「福島第一原子力発電所の放射線環境とロボット技術の展開」と題し、1Fの過酷な放射線環境下における遠隔機器の運用の在り方や、1F事故以来、頻繁に議論されてきた放射線の「線量」という概念についての講演が行われました。講演後には会場から「1Fの放射線量に寄与しているのは、どのような放射線であるのか?」との質問に対して「放射性物質からの直接線よりも散乱線からの寄与が大きい。」との回答があるなど活発な議論が交わされました。

次に、「高放射線場でのロボットの運用に向けて」と題し、ロボットアームと耐放射線カメラ開発、耐放射線半導体デバイス実用化を目指した取組み、そして放射線可視化技術開発といった実践的な成果発表について3名の研究者から紹介が行われました。ここでは、会場から、開発したデバイス機器の実用化や1F投入の時期という実践に向けた質疑が多く寄せられました。

■ 専門家による先端的情報の交流



二日目は、専門家間の最先端の情報の交流を目的とした専門ワークショップを開催しました。

午前のセッションでは、廃炉と同様に耐放射線性が求められている国際熱核融合炉、1F原子炉の格納容器内における遠隔機器や計測技術の運用経験と将来計画、そして、3次元放射線イメージング技術の展開という「高放射線場での運用経験」に関わる講演が行われました。

午後からの学生ポスター発表のセッションでは、留学生を含む24件の参加があり、学生が取り組んでいる1F廃炉に関する研究について発表が行われ、専門家との間で活発な意見交換が行われました。また、優れたポスター発表3件に対して優秀ポスター賞を表彰しました(左写真)。

最終セッションでは、より高度な専門的な議論を行うために、耐放射線性デバイスのセッションと放射線計測セッションとに分かれ、口頭発表を行うとともに、「耐放射線デバイス」セッションではパネルディスカッションも行いました。それぞれのセッションでは、「燃料デブリを検出するためには、どのような放射線を測ればいいのか」や「今後、研究成果の1F投入の方針はあるのか?また、時期は?」など積極的な討議が行われました。

■ 廃炉技術の展示会を開催

FRCでは初となる廃炉技術に係る展示会(右写真)を実施し、大学、研究機関に加えて、多くの民間企業が参加しました。出展には、ドローン、クローラー、ロボットアームなどの製造、販売、運用の遠隔機器関連や、半導体デバイス、遮蔽材、3Dプリンタの電子部品・材料関連、さらに、コンピューターカメラ、耐放性カメラなどの計測機器関連と、幅広い分野からの出展がありました。特に、1Fにおける遠隔機器の運用経験のある出展者によるクローラーの動作デモは参加者から注目を集めました。



廃炉国際共同研究センターは、引き続き国際的な会議を開催し、グローバルな課題である1F廃炉に向けた遠隔技術や放射線計測の技術開発、そして次世代を担う若い研究者達の人材育成に貢献していきます。

(脚注)

*:福島リサーチカンファレンス(FRC:Fukushima Research Conference)

1Fの事故は、1号機から3号機の3つの原子炉がそれぞれに異なった経路をたどって炉心崩壊から圧力容器損傷にいたるという、過去に例を見ない過酷なものとなりました。その廃炉は長期にわたる難事業となることが予想されます。この困難な廃炉作業のリスクを適切に管理するとともに、先端的なツール(ソフトウェアや装置)をタイムリーに現場に届けるために、国内外の様々な分野の科学者、技術者の協力が必要です。そのため、CLADSでは国内外の専門家の助力を得て、廃炉に必要な特定のテーマを選定して、年に5から6回の国際カンファレンスを開催しています。また、今回のFRCでは、専門家に限らず、一般の方にも参加いただけるように、初日のみ一般公開としました。

**:NEST(NEST:Nuclear Education Skills and Technology)

経済開発協力機構/原子力機関(OECD/NEA:The Organisation for Economic Co-operation and Development/The Nuclear Energy Agency)が、若い世代の原子力科学技術への関心を高めるために打ち出した構想で、若手の研究者・技術者等が参加する特定の国際教育プロジェクト等の実施を通じて、各国の大学、研究機関、産業界の間で国際的なネットワークを構築することを目的とするものです。今回は、CLADSと東京大学が実施する廃炉に向けた先進的な遠隔操作技術に関する国際教育プログラムの一環として捉えられています。



2019.4.1 No.90

放射性廃棄物や燃料デブリの分析に向けて 放射性物質分析・研究施設の 運用開始に向けた技術開発と人材育成



東京電力ホールディングス福島第一原子力発電所(以下、「1F」)の廃止措置を進める上で、大きな課題となるのが放射性廃棄物や燃料デブリの安全な保管方法や処理・処分方法の確立です。そのためには、放射性廃棄物や燃料デブリに含まれる放射性物質の種類や量を把握する必要があります。

現在、大熊分析・研究センターでは、1Fの隣接地の大熊町に放射性物質分析・研究施設を整備しています。ここでは、1F事故によって発生したガレキや焼却灰などの放射性廃棄物や燃料デブリの分析を行う予定ですが、これらの分析には、長時間に及ぶ分析操作や高い分析スキルが求められます。そこで、施設の運用開始に向けた効率的な分析技術の開発や分析技術者の育成を茨城県の東海地区において実施しています。

■ 放射性物質分析・研究施設の運用に向けた効率的な分析技術の開発

1F事故によって発生した放射性廃棄物は多種の放射性物質を含み、その性質も多様であると共に、保管方法や処理・処分方法の確立のためには多量の試料を分析しなければなりません。円滑な1Fの廃止措置に貢献するためには、これらの試料を迅速に分析することが求められますが、従来の分析方法を適用しようとすると、工程や操作が複雑になり、結果、分析が長時間に及ぶおそれもあります。そこで、新型の分析装置を取り入れた分析法の簡略化や分析操作の自動化に関する技術開発を行っています。

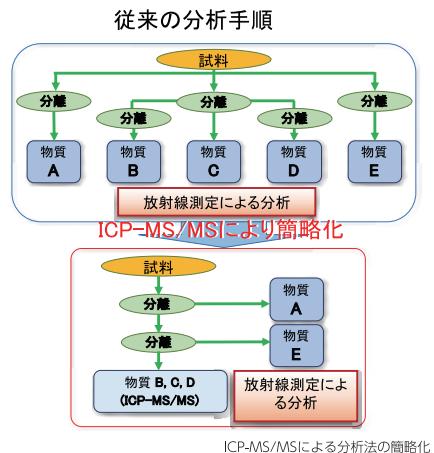
■ 新型の分析装置による分析法の簡略化

従来の分析法では、試料から放出される放射線を測定して、その種類や量を求めますが、試料中に数種類の放射性物質が含まれている場合、計りたい放射性物質の放射線が他の放射線と区別することが難しく、正確に測定できない場合があります。そのため、あらかじめ化学的の操作により他の物質と分離する必要がありますが、この工程は分離する物質の数が増えればその分だけ処理に必要な時間も増えるため、分析が長時間となる要因でした。

そこで近年では、放射線を測定しなくても計りたい放射性物質の量を測定することができる「誘導結合プラズマ質量分

析法(ICP-MS)」が導入されています。ICP-MSは、試料を装置内でイオン化し、その数を測定することで量を求めます。これにより、従来の分析法で必要だった分離の工程を省略することができ、分析に必要な時間を大幅に短縮することが可能となります。ただ、ICP-MSにも欠点があり、同じ質量のイオンを分離することはできません。

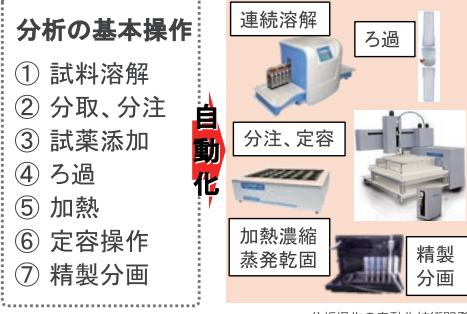
しかし、最近では、この欠点を克服したタンデム質量分析計を搭載した「誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS/MS)」が実用化されました。我々はより効率的な分析を行うため、ICP-MS/MSを放射性物質分析・研究施設での分析に取り入れるべく、適用が可能な放射性物質を抽出して最適な測定条件の検討を実施し、分析法の簡略化を目指しています。



■ 分析操作の自動化技術の開発

放射性物質分析・研究施設での分析では、化学分離などの測定前処理操作を多数の試料に対し並行して行うことを想定していますが、試料数が多くなることで分析技術者の作業負荷が大きくなることを懸念しています。そこで一連の測定前処理操作のうち、基本となる試料溶解や分取、分注操作などについて自動化を検討しています。

これまでの検討において、自動化による測定と熟練者による手動測定とを比較して同等の精度を有した結果が得られており、測定前処理操作においても自動化適用により同様の成果が期待できると考えています。



分析操作の自動化技術開発

■ 放射性物質分析・研究施設の運用に向けた人材育成

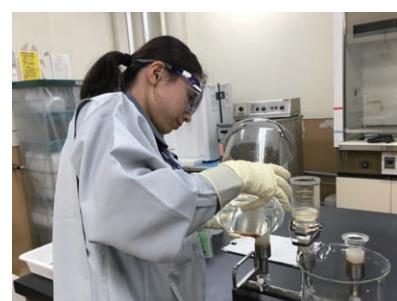


大熊分析・研究センターでは、放射性物質分析・研究施設の運用開始に向けて、分析技術者の育成を行っており、当機構の東海地区にある原子力科学研究所や核燃料サイクル工学研究所において主に分析業務を実施している施設に若手技術者を派遣し、分析技術や分析で得られた結果の評価、放射性物質の取扱方法(グローブボックスやセル作業)などを学ばせています。ここでは、その一例として核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部 環境監視課での研修について紹介します。

環境監視課の主な業務は、東海再処理施設からの放射性液体廃棄物の放出管理、及び放出された放射性廃棄物が周辺環境に影響を与えていないことの監視です。そのため、東海再処理施設から出る排水の放出前の濃度確認分析や環境放射線モニタリングを行っています。得られたデータは、定期的に国と県に報告し、一般に公開しています。

若手技術者は環境監視課の環境分析チームに所属し、環境放射線モニタリングとして、施設周辺の環境試料に含まれる放射能分析・評価を行っています。主な試料は、農作物・畜産物・土壌等の陸上環境試料、及び魚介類・海藻・海水等の海洋環境試料です。作業の流れは、環境試料を採取し、試料の前処理、化学分離の後、計りたい放射性物質に応じた測定(Ge半導体検出器、液体シンチレーションカウンタ等)を行い、その結果の評価・報告となります。

1Fの放射性廃棄物の特徴として、どんな放射性物質がどのくらい含まれているか“未知”であることが挙げられます。保管方法や処理・処分の方法を決めていくためにも、これを明らかにするための分析が必要不可欠です。そのため、環境監視課において、様々な試料に応じた分析アプローチを学ぶことで、1Fの廃止措置へ貢献していきます。



全β放射能分析(ろ過作業)

<次ページへ続く>

■ 研修に励む若手技術者より

研修先での業務は、環境試料の採取から分析結果の評価・報告まで多岐にわたります。また、分析の対象となる放射性物質が多いため、それぞれの分析結果の傾向を把握し、評価することに苦労しています。放射性物質分析・研究施設の運用開始に向けて、新しい“未知の”試料に柔軟に対応できる分析技術者となれるよう、環境モニタリングに用いられている既存の分析技術だけでなく、各分析方法のメリット・デメリットや、なぜその分析方法を採用したかの背景などについても研修の中で学んでいきたいと考えています。

2019.4.1 No.91

「現場」で「瞬時」に核燃料由来のアルファ線放出核種を測定する技術を開発

1F廃炉作業の円滑な推進に貢献へ

廃炉国際共同研究センターは、東京電力ホールディングス福島第一原子力発電所(以下、「1F」)の円滑な廃炉作業に向けて、アルファ線¹⁾放出核種による汚染を高い精度で検出可能な「アルファ核種可視化検出器」を開発しました。この検出器を用いて1F原子炉建屋内の床面での拭取りにより採取されたスミヤ試料²⁾に付着した放射性物質の測定を行った結果、核燃料由来と考えられるアルファ線放出核種の分布状況を高い精度で検知することに成功しました。

本検出器はアルファ線放出核種を含む粒子の位置分布とアルファ線のエネルギー分布を同時に検知することが可能なため、廃炉作業を円滑に進める上で重要なアルファ線放出核種の分布状況の把握や作業環境の放射線管理、作業員の放射線防護などへの応用が期待できます。

■ 開発した検出器は現状とどう違うのか？



1F事故により、放射性物質が原子炉建屋の内外に放出されました。これまで関心を集めていたのは主に放射性セシウムから放出されるガンマ線ですが、放射性物質の中にはアルファ線を放出するものがあります。代表的なものは原子炉内で生成されるプルトニウム³⁾、ウラン等です。これらが体内に摂取されると体内的組織・臓器が継続的にアルファ線にさらされることになり、内部被ばくをもたらします。そのため、これらアルファ線放出核種の検知は、廃炉作業に従事する作業者にとって非常に重要です。

しかし、現在1Fの現場で用いられている市販のZnS(Ag)サーベイメータ(左写真)ではアルファ線の強さ(計数率)の情報しか取得できず、エネルギー測定ができないため、自然界に存在するラドン等の天然核種とプルトニウムやウランとの弁別ができません。また、それら粒子の位置や分布を特定することも不可能です。

今回、開発した「アルファ核種可視化検出器」を用いて1F原子炉建屋内で採取されたスミヤ試料を測定した結果、従来のZnS(Ag)サーベイメータでは不可能であったアルファ線放出核種の位置分布及びエネルギー分布検知への有用性が実証されました。

■ アルファ線をどう計測するのか? (“天然核種”と“核燃料由来の核種”を弁別)

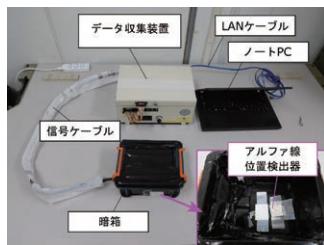
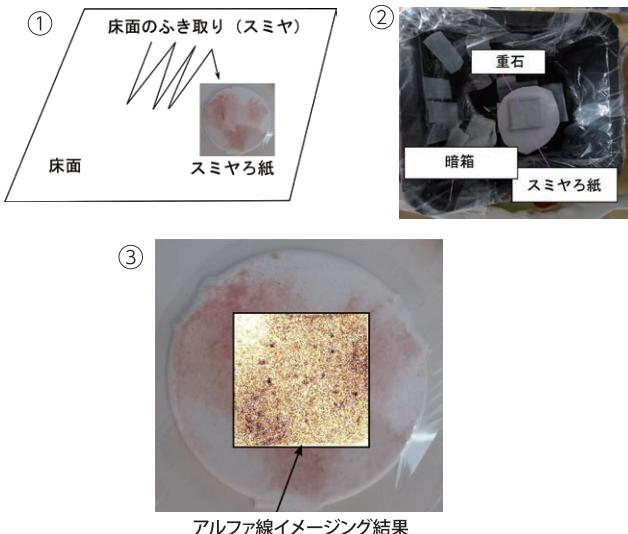


図1 開発したアルファ核種可視化検出器(左)とアルファ核種可視化検出器の原理(右)(検出面は上向き。測定時は暗箱の中に封入される)

図1が開発したアルファ核種可視化検出器です。アルファ線はベータ線・ガンマ線に比べて飛ぶ距離(飛程)が極めて短いという性質を持つため、アルファ線を精度よく計測するため、薄膜(厚さ50ミクロン)のGAGG⁴シンチレータ⁵とライトガイド、光検出器である位置敏感型シリコン光電子増倍管を用いました。アルファ線がGAGGシンチレータに入射すると発光し、その光がライトガイドを介して位置敏感型シリコン光電子増倍管へと導かれます。この位置敏感型シリコン光電子増倍管により電気信号に変換されることにより、アルファ線が入射した位置が面的(2次元的)に可視化されます。また、本検出器はアルファ線のエネルギー情報も同時に測定できることから、アルファ線放出核種が天然核種か人工核種かの識別が可能です。

今般、本検出器の実証試験として東京電力ホールディングス株式会社の協力により、1F原子炉建屋内で採取されたスミヤ試料に付着した放射性物質の測定を行いました(図2)。アルファ線とベータ線のスペクトルを識別するため、検出器とスミヤ試料間に紙を置くことによりアルファ線のみが遮蔽され、ベータ線は通過するので、紙ありなしの差分を取ることにより、アルファ線のみのスペクトルを得ることができます。

図2 1F原子炉建屋で採取されたスミヤ試料。測定の手順は次の通り。
①スミヤろ紙を使って、原子炉建屋の床面のふき取りを行う。
②採取後のスミヤろ紙をアルファ核種可視化検出器の検出面上にセットし測定。
③スミヤろ紙上のアルファ線放出核種を含む粒子の2次元分布が得られる。
同時にエネルギースペクトルが得られる。



本検出器を用いて1Fで採取されたスミヤ試料を測定した結果、以下のことが分かりました。

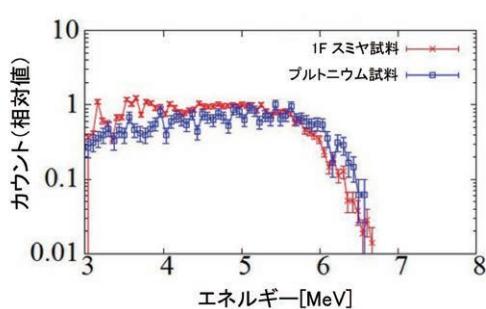


図3 スミヤ試料とプルトニウム試料のアルファ線エネルギースペクトルの比較(プルトニウムのアルファ線エネルギー(5.5MeV)付近において両者のスペクトルが一致している)

(1) 1Fスミヤ試料と原子力機構の核燃料施設で採取したサンプルのアルファ線のエネルギースペクトルを比較したところ、両者は非常によく一致していることが分かりました(図3)。

(2) アルファ線を放出している粒子の面的な広がり(アルファ線イメージング結果)をみると、局所的な分布(粒状)と一様分布(微粒子状)が混在していることが分かりました(図2)。この原因はまだ不明ですが、これまで市販の検出器では粒子分布の把握が困難であり、アルファ線放出核種がどのように分布しているか分かりませんでした。今後、その原因や詳細な粒子分布の調査を行っていきます。

今般、開発した本検出器はアルファ線放出核種を含む粒子の位置分布とアルファ線のエネルギー分布を同時に検知するため、廃炉作業を円滑に進める上で重要となるアルファ線放出核種の分布状況の把握や作業環境の放射線管理、作業員の放射線防護などへの応用が期待できることから、1F廃炉作業の進展に貢献したいと考えています。今後、現場作業に迅速に適用できるよう鋭意改良を行っていきます。

■ 研究者より

本研究を行っている廃炉国際共同研究センターの森下祐樹研究員は、約3年かけて1Fでの実証試験にこぎ着けたことについて、その苦労を次のように述べています。「元々この検出器は核燃料施設のプルトニウム汚染を検出するために開発してきましたが、今回それを1Fの試料の測定に応用することで核燃料由来のアルファ線放出核種を検知することに成功しました。測定は真冬に屋外の倉庫で行い、測定中、突然装置が動作しなくなるトラブルがありましたが、経験を積む中で解決してきました。今回、東京電力ホールディングス株式会社の方々のご協力を得て、1Fで測定を行わせていただき、得られたアルファ線放出核種の分布はこれまでのとは異なる特徴を有していることが分かりました。今後は、その特徴を明らかにするために更なる検出器の改良に取り組む予定です」。

【用語解説】

- 1) アルファ線 アルファ線は電離放射線の一種で、ヘリウムの原子核。空気中で数cm、体内組織中では数十μmの距離しか飛ばない。したがって、その短い距離に大きなエネルギーを付与するため、体内に取り込んだ場合に人体に与える影響(内部被ばく)が大きい。
- 2) スミヤ試料 表面汚染を採取するための円形のろ紙。これで対象物の表面を擦り表面汚染を採取する。
- 3) プルトニウム 放射性物質であり、アルファ線放出核種の一つ。一般的に酸化物(PuO_2)として存在する。吸入や経口摂取することにより人体に侵入する。吸入することが最もリスクが高く、吸入すると体内の組織がアルファ線に曝され続けることになる。
- 4) GAGGシンチレータ シンチレータ結晶のひとつ。組成は、ガドリニウム、アルミニウム、ガリウム、ガーネットである。発光量が大きく、発光波長もシリコン光電子増倍管と相性が良いため、アルファ線に対して高いエネルギーの分解能が得られている。また、潮解性もなく空気中の水分による劣化の心配もないため、長期間安定して使用することができる。
- 5) シンチレータ 放射線によって発光(シンチレーション光)する蛍光物質。シンチレーション光を電気信号に変換して、入射放射線数、エネルギーを計測する。

平成31年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞(開発部門)を受賞



受賞した福島環境安全センターの左から新里忠史、鶴田忠彦、飯島和毅、北村哲浩、操上広志の各氏

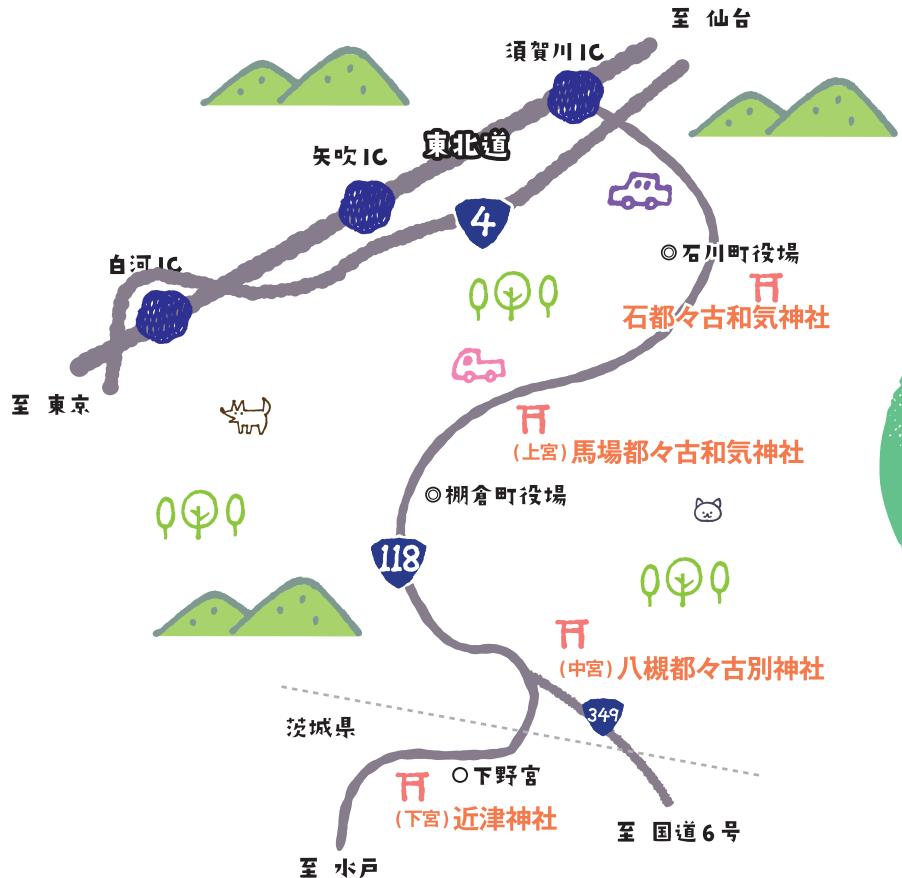
福島研究開発部門 福島環境安全センターの飯島副センター長らは、平成31年4月17日(水)に文部科学省において、「福島復興のための環境中の放射性セシウム動態評価手法の開発」の業績により、平成31年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞(開発部門)を受賞しました。

福島第一原子力発電所事故後、避難解除にむけて生活圏の除染が行われてきましたが、大部分の森林は生活圏となつておらず、未除染のままであります。このため、未除染の森林から放射性セシウムが移動し生活に影響を及ぼすことが懸念され、福島県の復興阻害の一因と考えられていました。

本開発では、福島県浜通りの8河川水系を対象とし、水源となる森林から河口域まで、様々な環境中の放射性セシウム濃度データを取得し、それらを表現する移動・堆積挙動予測解析を実施し、水系全体における放射性セシウムの移動・堆積挙動を定量的に評価しました。

本開発により、森林から河川水系への懸濁態の年間流出量は樹種や傾斜によらず初期沈着量の0.数%程度と極めて少ないと、溶存態は地下水が湧水点から森林表土を流出する過程で水に溶出していること、ダムのある河川では懸濁態の移動は大幅に抑制されることなど、河川水系全体での放射性セシウムの移動・堆積挙動の支配因子を明らかにしました。

本成果は、復興の進展に合わせて自治体や国等の関係機関に取りまとめて提供しており、避難指示解除の判断根拠や、農林水産業の復興計画策定のための基盤情報に寄与している、との理由により受賞いたしました。



単身赴任者である私は、高速道路を利用せず、一般道である国道4号＝国道118号＝国道349号＝国道6号を経由して福島市内と自宅までの間を行き来することが間々ある。国道118号はのどかであり、ゆったりとした田園風景の中を走っているが、この国道沿いには意外と大きな社があることに気が付いた。

茨城県大子町の(下宮)近津神社と「近津三社」を構成する神社が福島県棚倉町に2つある。ひとつは「(中宮)八槻都々古別神社(やつき つつこわけ じんじゃ)」である。八槻の「槻(つき)」はケヤキの古名であり、日本武尊が放った八本の矢が槻に刺さったので「八槻」。または、日本武尊が放った1本の矢が刺さった場所(矢が突き刺さった=箭津幾=やつき)を言うようである。もう一つは、(中宮)から棚倉町中心部を経て北へ5km程のところに鎮座した「(上宮)馬場都々古和氣神社(ばば つつこわけ じんじゃ)」である。かなり苦むした、場所が分かり難い社である。ここから更に、北上し片倉温泉で有名な福島県石川町には「石都々古和氣神社(いわ つつこわけ じんじゃ)」がある。鏡石など奇岩に囲まれた城址跡(旧三芦城)の頂に鎮座している。

これらに言う「つつこわけ」とは、その年の新しい糀(もみ)を入れる藁苞(わらづと=簡単に言えば、水戸納豆を包む藁のようなもの。)を意味する説があり、五穀豊穣に関わる農耕神として、大国主命(出雲国譲りの神)の息子である味耜高彦根神(あじすきたかひこねのかみすきは鋤を神格化したもの。)を地主神とし、その後のヤマト朝廷の東夷東征に関連して武神として日本武尊も祀られていく。



令和の「さくら」



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

■福島事業管理部

いわき事務所 〒970-8026 福島県いわき市平字大町7-1 平セントラルビル8F
TEL 0246-35-7650 FAX 0246-24-4031

福島事務所 〒960-8031 福島県福島市栄町6-6 NBFユニックスビル7F
TEL 024-524-1060 FAX 024-524-1069

■廃炉国際共同研究センター

〒979-1151 福島県双葉郡富岡町大字本岡字王塚790-1
TEL 0240-21-3530 FAX 0240-22-0100

■檜葉遠隔技術開発センター

〒979-0513 福島県双葉郡檜葉町大字山田岡字仲丸1-22
TEL 0240-26-1040 FAX 0240-26-1041
<https://naraha.jaea.go.jp/>

■大熊分析・研究センター

TEL 0246-35-7650 (いわき事務所取扱い)

■福島環境安全センター

〒963-7700
福島県田村郡三春町深作10-2
福島県環境創造センター研究棟内
TEL 0247-61-2910 FAX 0247-62-3650

〒975-0036
福島県南相馬市原町区萱浜字巣掛場45-169
福島県環境創造センター環境放射線センター内
TEL 0244-25-2072 FAX 0244-24-2011



JAEA福島研究開発部門

<https://fukushima.jaea.go.jp/>



2019年5月発行