

令和3年度第5 専門技術群（核・放射線系）専門研修会報告

京都大学複合原子力科学研究所
技術室 栗原 孝太

【特別講演・技術発表】

1. 目的

原子炉、放射線関連施設等の保守、安全管理及び関連設備の維持管理は社会的影響の大きい業務であり、現場で業務に携わる技術職員の役割は重要である。特別講演では、広い知見を得ること及び最新の技術情報の収集を目的とし、また技術発表では、日常の業務と経験を報告することで技術、情報の共有を図り安全管理、研究の技術支援に貢献することを目的とする。

2. 受講者名簿

	所属	氏名	所属専門技術群
1	複合原子力科学研究所	張 俊	第5 専門技術群
2	複合原子力科学研究所	奥村 良	第5 専門技術群
3	複合原子力科学研究所	竹下 智義	第5 専門技術群
4	複合原子力科学研究所	藤原 靖幸	第5 専門技術群
5	複合原子力科学研究所	吉永 尚生	第5 専門技術群
6	複合原子力科学研究所	阿部 尚也	第5 専門技術群
7	複合原子力科学研究所	長谷川 圭	第5 専門技術群
8	複合原子力科学研究所	牧 大介	第5 専門技術群
9	複合原子力科学研究所	栗原 孝太	第5 専門技術群
10	複合原子力科学研究所	大野 和臣	第5 専門技術群
11	複合原子力科学研究所	飯沼 勇人	第5 専門技術群
12	複合原子力科学研究所	井本 明花	第5 専門技術群
13	複合原子力科学研究所	荻野 晋也	第5 専門技術群
14	複合原子力科学研究所	金山 雅哉	第5 専門技術群
15	複合原子力科学研究所	小林 徳香	第5 専門技術群
16	複合原子力科学研究所	田中 良明	第5 専門技術群
17	複合原子力科学研究所	中森 輝	第5 専門技術群
18	複合原子力科学研究所	平井 康博	第6 専門技術群
19	複合原子力科学研究所	丸山 直矢	第5 専門技術群
20	複合原子力科学研究所	三宅 智大	第5 専門技術群
21	複合原子力科学研究所	山田 辰矢	第5 専門技術群
22	複合原子力科学研究所	上田 哲也	第5 専門技術群
23	複合原子力科学研究所	富永 悠太	第5 専門技術群
24	複合原子力科学研究所	白鳥 篤樹	第5 専門技術群
25	複合原子力科学研究所	阪本 雅昭	第5 専門技術群
26	複合原子力科学研究所	南 馨	第5 専門技術群

	所属	氏名	所属専門技術群
27	理学研究科	廣瀬 昌憲	第2 専門技術群
28	化学研究所附属 先端ビームナノ科学センター	頓宮 拓	第1 専門技術群
29	工学研究科（宇治キャンパス）	佐々木 善孝	第5 専門技術群
30	滋賀医科大学 実験実習支援センター	森 康博	

3. プログラム

開催日時：令3年11月5日（金）10：50～17：00

開催場所：京都大学複合原子力科学研究所 事務棟会議室等

（各勤務場所に応じた居室や会議室等での受講を可とする。）

プログラム

受付：10:30～10:50	
開会挨拶：10:50～11:00 複合原子力科学研究所 所長 中島 健	
特別講演(1)：11:00～12:00 司会：栗原 孝太	
【福島における原子力発電所由来の放射性物質の処理】	
複合原子力科学研究所 放射性廃棄物制御工学研究分野 准教授 福谷 哲	
昼食：12:00～13:00	
業務連絡等：13:00～13:15	
特別講演(2)：13:15～14:15 司会：奥村 良	
【GPS 連動型放射線計測システム KURAMA の開発】	
複合原子力科学研究所 核ビーム物性学研究分野 助教 谷垣 実	
技術発表(1)：14:15～14:45 司会：飯沼 勇人	
「負の遺産整理～長期未整理放置の RI 汚染物の廃棄について～」	
複合原子力科学研究所 技術室 吉永 尚生	
休憩：14:45～15:15	
技術発表(2)：15:15～15:45 司会：田中 良明	
「MVP を用いた中性子の遮蔽計算」	
複合原子力科学研究所 技術室 上田 哲也	
技術発表(3)：15:45～16:15 司会：大野 和臣	
「冷却設備に関する不適合について」	
複合原子力科学研究所 技術室 荻野 晋也	
技術発表(4)：16:15～16:45 司会：井本 明花	
「液体廃棄物分析用放射能測定装置の設置について」	
複合原子力科学研究所 技術室 三宅 智大	
閉会挨拶：16:45～17:00 複合原子力科学研究所 技術室長 張 儉	

4. 研修内容

今回の特別講演では、東京電力福島第1原子力発電所の2011年3月からの事故から10年を迎え、事故の問題に取り組んでおられる福谷哲先生と谷垣実先生にご講演を賜った。福島第1原子力発電所から出る処理水の海洋放出の問題と容易にモニタリングが可能となる新放射線計測システムの開発に関しての内容で、大変有意義な講演であった。

また、技術発表においては、放射性廃棄物に関する内容が1件、原子炉施設に関する内容が3件の発表が行われ、各施設の状況や問題点等を全技術職員で共有することができた発表であった。

以下に本研修会の写真と予稿を掲載する。

5. 特別講演・技術発表写真



特別講演(1) 福谷哲先生



特別講演(2) 谷垣実先生



技術発表(1) 吉永尚生氏



技術発表(2) 上田哲也氏



技術発表(3) 荻野晋也氏



技術発表(4) 三宅智大氏

<特別講演(1)>

福島における原子力発電所由来の放射性物質の処理

京都大学複合原子力科学研究所
准教授 福谷 哲

1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所の事故から10年余りが経過した現在、「汚染水」を「セシウム吸着装置(キュリオン、サリー)」および「多核種除去装置(ALPS; Advanced Liquid Processing System)」で処理した「処理水」の量は1,280,282m³(2021年10月14日現在)と報告されており¹⁾、処理水を貯蔵するタンクの設置数は1061基にのぼる。原理的に、トリチウム(³H, T)以外の放射性核種はALPS等で除去できると考えられるが、トリチウムは水:H₂Oと同じ化学形態のトリチウム水:HTOの形態をとっていると考えられ、トリチウム水の除去は水の中から水を取り除くようなもので、処理が難しい。福島第一原子力発電所に関連する汚染水中のトリチウム濃度は約6.2×10⁵Bq/L、トリチウム量は7.9×10¹⁴Bq程度であるとされている。施設外の環境に排水する際の放射性物質濃度は法令で定められており、トリチウムは、化学形態を水とした場合、その濃度限度は60Bq/cm³(6.0×10⁴Bq/L)である。従来、原子力発電所ではPWRで10¹⁴Bq、BWRで10¹³Bqオーダーの年間放出管理目標値を定めて、実際の放出量は目標値より1桁低いものであったが、トリチウムを処理する事無く海に放出してきた。現在、国における東京電力福島第一原子力発電所由来の処理水の処分方針はトリチウム濃度が1.5×10³Bq/L以下となるように海水で希釈して、海岸から1km程の沖合で放出するというものである。

一方で、東京電力は海洋放出するトリチウム量をなるべく低減すべくトリチウムの分離技術に関する公募を開始した。我々は酸化マンガンを用いたトリチウム分離法を開発しようとしている。

2. 実験

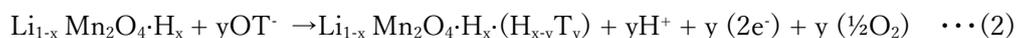
今回我々はスピネル型結晶構造をもった酸化マンガンに着目し、トリチウムの分離を試みた²⁾。実験系を図1に示す。LiMn₂O₄をあらかじめ塩酸によってプロトンを付加する((1)式)。

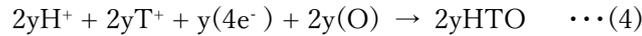


このプロトン化したLi_{1-x}Mn₂O₄·H_xを反応膜として、HTOを含んだ模擬廃水に反応槽で接触させる。反応槽は密閉系でヘッドスペースにエアポンプで空気を送り、槽内の水蒸気を後段の純水を入れたガス洗浄びんにて回収するような系である。随時模擬廃水を採水し、廃水中トリチウム濃度を液体シンチレーションカウンターで測定した。

3. 結果と考察

測定した模擬廃水中トリチウム濃度の経時変化を図2に示す。トリチウム濃度が減少している様子が見られ、また、ガス洗浄びん中にトリチウムが検出された。酸化マンガンは触媒として作用しており、





という反応が進み HTO が回収されると考えられる。水中には H_2O と HTO から電離した OH^- と OT^- が存在しているが、(3)式のところで選択的に OT^- との反応が起こると考えられている。今後理論を詳細に検討し、プラント化に向けて取り組んでいきたい。

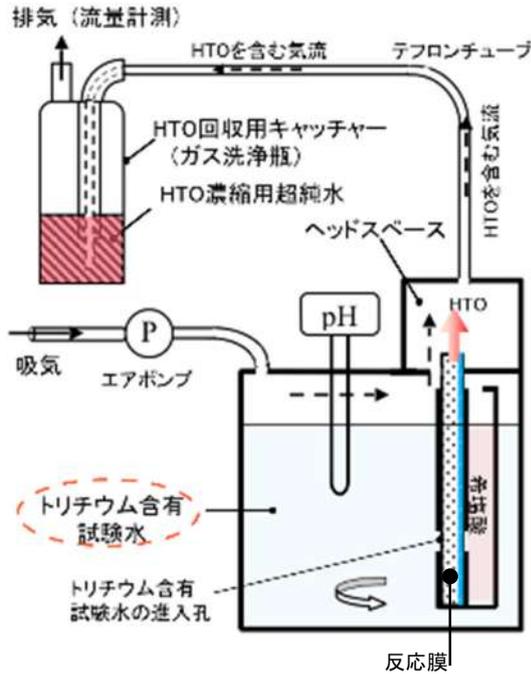


図1 実験系の概念図

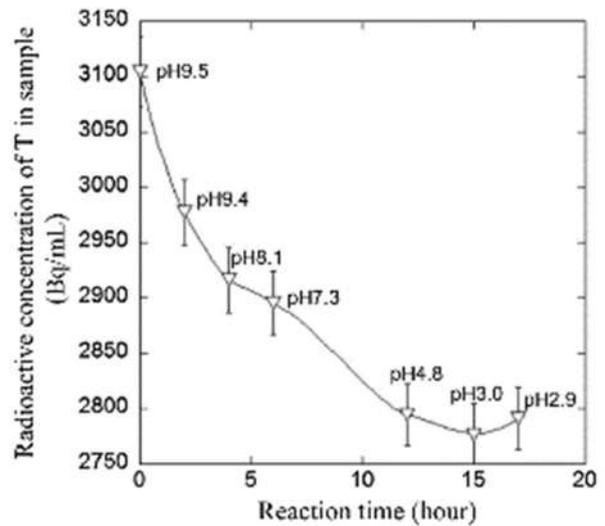


図2 模擬廃水中トリチウム濃度の経時変化²⁾

1) 東京電力：処理水ポータルサイト

<https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/>

2) H. Koyanaka and S. Fukutani, Tritium separation from parts-per-trillion level water by a membrane with protonated manganese dioxide, J Radioanal Nucl Chem (2018) 318:175-182

<特別講演(2)>

GPS 連動型放射線計測システム KURAMA の開発

京都大学複合原子力科学研究所

助教 谷垣 実

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故は、我が国が経験したことのない規模の原子力災害であり、現在もその収束にむけ国を挙げての取り組みが続いている。我々はこの未曾有の原子力災害に伴う広範囲の汚染に対応すべく、GPS 連動型放射線自動計測システム KURAMA(Kyoto University RAdiation MApping system)を開発した¹⁾。その後 KURAMA は KURAMA-II へと進化²⁾し、現在では福島県を中心とする東日本一帯の放射線モニタリングに活用されているだけでなく、得られた知見や技術成果は将来の原子力災害への備えに生かされようとしている。

ここでは、主に現在広く使われている KURAMA-II を中心にシステムの概要や成果を紹介するとともに、KURAMA や KURAMA-II の開発や運用を通じて学んだことや考えたことを述べたい。

2. KURAMA/KURAMA-II のあらまし

KURAMA および KURAMA-II は、移動しながら位置情報とともに放射線に関する情報を測定するシステムで、いわゆる自動車走行サーベイを実現するために開発されている。しかしながら機器構成や運用においての柔軟性の高さから、当初の想定を超えて様々な局面で活用されている。

現在使用されている KURAMA-II のシステム構成を図 1 に示す。他の類似システムと異なり、緊急時の大規模な調査での利用を想定し、完全自動化やクラウドによるリアルタイムのデータ共有などにより、利用者への負担の軽減、データの毀損や測定機会逸失を最小限にすることに注意を払って設計されている点が特徴である。

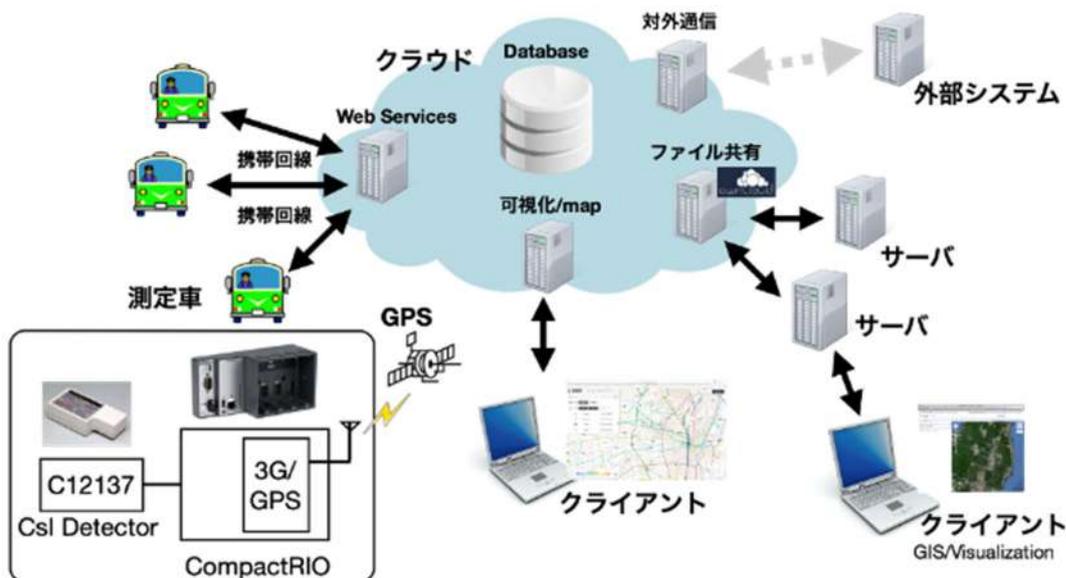


図 1 KURAMA-II のシステム構成。クラウド上に構成された各種仮想サーバによる多彩な機能提供が行われている。

車載機は当初の KURAMA では最低限必要なものを最短期間で開発するため、汎用品の NaI(Tl) サーベイメータとノートパソコン、GPS モジュール、モバイルルータから構成されたシンプルなものであった。その後開発された KURAMA-II では放射線検出器と GPS、組込 PC(National Instruments 社製 CompactRIO)、3G/LTE 通信モジュールからなり（図 2）、放射線データと GPS データの取得、データ処理と蓄積および共有を行う。KURAMA-II は通電で自動的に測定を開始、電源断で自動終了し、CompactRIO 内の不揮発性メモリに 1 か月分以上の測定データを保持、モバイル回線に接続次第クラウドにアップロードできる。そのため故障しない限り操作は一切不要である。また、量産型の KURAMA-II では、ネットワーク経由での内部ソフトウェアのアップデートも可能となっている。



図 2 KURAMA-II 車載機。筐体の大きさは 34.5 cm×17.5 cm×19.5 cm で、この中に CsI(Tl) 検出器と組み込みコンピュータ、通信モジュールが収められている。シガープラグ等からの電源供給で自動的に測定を開始する。

KURAMA-II では放射線検出器として浜松ホトニクス社の C12137 シリーズ³⁾を採用している。このシリーズは MPPC を受光素子として採用した USB バスパワーで駆動できる CsI(Tl) シンチレーション検出器である。MPPC は APD（電子雪崩式フォトダイオード）のアレーであり、振動や衝撃に極めて弱く取り扱いや設置に注意が必要な光電子増倍管に比べて著しい機械的強度の向上を実現しながらも光電子増倍管のような増倍効果を持っており、従来のフォトダイオードと比べて S/N が著しく向上していることが特徴である。CsI(Tl) シンチレータの蛍光は MPPC の効率の最大となる領域であることから採用されている。なお、CsI(Tl) は従来の NaI(Tl) に比べて蛍光の寿命が長く、高計数率対応で不利とされている。例えば C12137-00 では 3.4 cm³、C12137-01 では 36 cm³ の CsI(Tl) 結晶を採用しており、標準品では 100 μSv/h ないし 10 μSv/h までしか測定できない。しかし、KURAMA-II 用の C12137 シリーズでは浜ホトと共同開発の高計数率対応アルゴリズムを搭載しており、例えば C12137-00 では 2 mSv/h 程度まで測定が可能となるなど NaI(Tl) に対する不利な点は事実上解消されている。

さて、C12137 シリーズでは、アンプと ADC を内蔵、波高データは 100 ms ごとに 1024 ch の波高分布として USB で出力される。KURAMA-II ではこの波高分布データを測定地点ごとに収集、

GPS による測位情報・時刻情報でタグ付けして記録、送信するとともに、この波高分布データを JAERI の森内らにより開発された G(E)関数法⁴⁾により周辺線量当量率や吸収線量率などに換算している。これは検出器のエネルギーごとの応答特性等を含んだ G(E)関数を用意しておき、検出器のスペクトルデータに G(E)関数を適用することで周辺線量当量率や吸収線量率などを得る方法であり、簡便ながら実用性の高い日本で開発された手法である。特に最近では PHITS⁵⁾のようなシミュレーション環境が整ってきたことから信頼性の高い G(E)関数が使えるようになってきている。なお、KURAMA-II でつかっている G(E)関数は JAEA の津田によるものを使用している⁶⁾。

東電事故の後移動しながら放射線量を記録するシステムは数多く発表されているが、KURAMA や KURAMA-II を特徴づけるのはクラウドによるリアルタイムのデータ共有である。車載機はクラウドに接続して測定データを共有する。各地の利用者はほぼリアルタイムに更新されるデータを取得し、各自の環境で線量率評価やスペクトルデータの再構成など様々な解析を行うことができる。この仕組みの例示として作成した Google Earth 上でのリアルタイム可視化は、KURAMA/KURAMA-II が高く評価された理由の一つにもなっている。しかし実はクラウドに接続した普通の PC に apache をインストールし、KML データを動的に生成する数十行の php スクリプトを作成して稼働させ、Google Earth で表示させていただけである。

クラウドサービスとしては、KURAMA はデータのリアルタイム共有だけを行うために Dropbox を利用していた。しかし、KURAMA-II で採用した CompactRIO では Dropbox がサポートされておらず、新たに Web Service 形式でのデータ通信プロトコルを開発し、AWS (Amazon Web Services) などのクラウド上に構築したデータベースに送信している。なお、データ通信自体は一般的な Web ページのデータと同じ形式であり、一般の Web サーバに簡単な実装を施すことで KURAMA のデータを受信することもできる。受信されたデータはクラウド上の仮想データベース上に登録されるとともにオープンソースファイル共有サービスである ownCloud でほぼリアルタイムで共有される。このときの共有形式は KURAMA と KURAMA-II では全く同じで、KURAMA-II の場合は波高分布のデータファイルが追加される。いずれも一般的なテキストファイル形式で共有されるため、データの可読性は最大限に確保されている。また仮想データベースのデータにはクラウド上に実装された仮想サーバがアクセスして多彩なサービスを提供している (図 3)



図 3 仮想サーバで提供される機能の例。総務省統計局の定める各種統計用メッシュに合致した線量率のマップ表示で昼間人口等との照合も容易になっているだけでなく、各メッシュをクリックすることで γ 線スペクトルデータの再構成も可能になっている。

このクラウドによる共有の本当の利点は測定のスケーラビリティにある。類似の他の測定システムでは測定端末ごとに完結しており、ごく小規模の運用の場合は利便性が高い。しかし実際の災害時は複数箇所に展開した測定機のデータを集約して評価する必要があり、都度 USB メモリにコピー、アップロード操作、あるいは電話やファックス等でデータを報告するなどの方法がとられている。しかし KURAMA-II ではユーザがこれらを意識する必要は全くなく、必要な台数を確保して電源を投入して現地へ携行するだけでよい。そのデータはクラウドにアクセス可能なユーザ全員とリアルタイムで共有できるので、各所からの測定値の報告をまとめる作業を行う必要もない。一見わずかの差であるが、このような使い勝手の良さが現在まで KURAMA-II が活用され続けている理由である。

3. KURAMA/KURAMA-II の展開例

3.1 生活圏の定常的なモニタリング

簡便で柔軟な運用が可能な KURAMA/KURAMA-II を用いて様々な調査活動が行われている。特に KURAMA-II は完全自動計測を実現しており、電源に接続された時点から測定を開始してデータを送信し、電源供給がなくなった時点で自動停止する。このため、測定を展開するにあたって KURAMA-II の操作を習得する必要はない。これを活かした特徴的な事例が路線バス等に搭載した KURAMA-II による福島県内の継続的な生活圏の走行サーベイである（図 4）。これは筆者らが提唱したもので、住民生活密着のモニタリングを最小の人的・金銭的負担で長期に継続することができる。



図 4 福島県内の路線バスに搭載された KURAMA-II。左が会津乗合自動車、右が福島交通のもの。バスの電源に接続されているため、バス運行時の自動的な測定が実現している。

この路線バスによるモニタリングは 2011 年 12 月に福島市で実証試験を開始し、翌年郡山市、いわき市、会津若松市に拡大、2013 年度以降は京都大学、福島県、JAEA の共同事業となり、約 60 台の KURAMA-II が日々モニタリング活動を継続している⁷⁾。その結果は福島県の Web ページで公開されている（図 5）。このモニタリング活動により、生活圏での線量率の推移が具に明らかになっており、それぞれの場所での除染活動による線量率の低減やその効果の維持も確認されている。

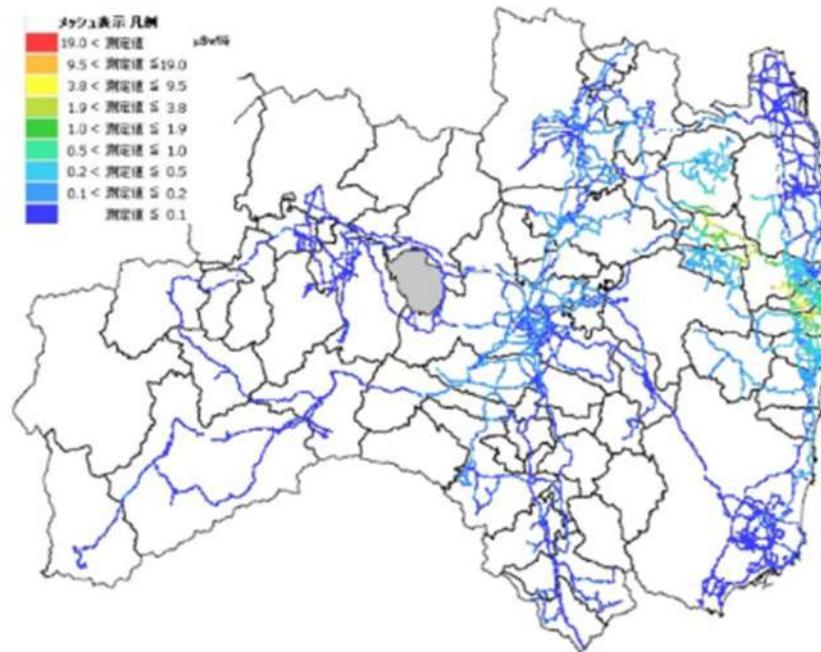


図 5 福島県内で継続中の路線バス等による定常的なモニタリングの結果の例。このようなマップが週単位で生成され、一般に公開されている⁷⁾。

この調査で明らかになった興味深い事例の一つが放射性薬剤による医療行為をうけた後の患者がバス利用したことによる線量率の上昇の検出である。これは、路線バスに搭載されたある 1 台の KURAMA-II だけ通常の 10 倍の線量率が約 10 分程度観測されたというものである。この異常が発見された当初はバス路線の道路脇が広範囲に汚染されている可能性が疑われた。しかし、KURAMA-II のガンマ線エネルギースペクトルで ^{99m}Tc が確認できたこと、また KURAMA-II の GPS 情報から線量率の上昇が放射性薬剤を取り扱う医療機関のバス停から最寄りの駅までであったことその他の情報を総合し、医師の医療行為に伴う放射性薬剤投与を受けた患者に由来するものであると判明した(図 6)。このような KURAMA-II の能力が原子力災害時に発揮されれば、事故で放出された短寿命核種の拡散や分布の状況をつぶさに捉えられると期待される。

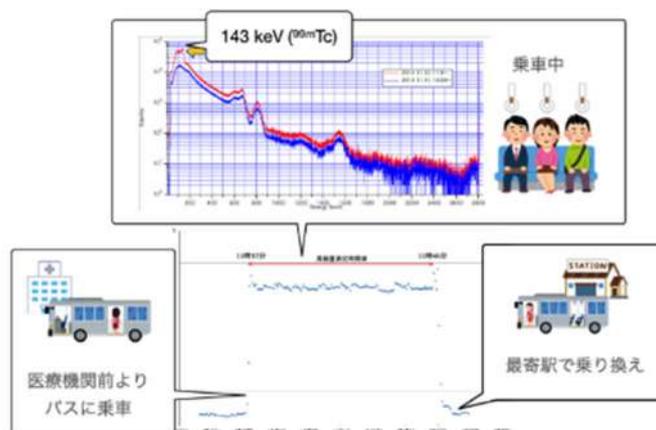


図 6 路線バスによるモニタリングで発見された医療用 RI による線量率上昇の例。線量率だけでなくスペクトルデータも同時に収集して評価可能な KURAMA-II の威力が発揮された例である。

3.2 東日本一帯における定期的な走行サーベイ

KURAMA が初めて公式の調査事業に利用されたのは2011年6月に文部科学省が行なった放射線量等分布マップ事業の第一回調査である。土壌採取事業と並行して福島県およびその周辺地域を対象に測定を実施し、当時航空機サーベイがまだ及んでいなかった80km圏以遠の空間線量率分布を明らかにした。その後2011年12月に行われた第二回調査では首都圏を含む東日本一帯を対象地域を拡大、2012年3月の第三回調査以降はKURAMA-II約100台を東日本一帯の自治体に貸与、各自治体が公用車等で走行サーベイを実施する形で実施した。この事業では、参加した各自治体にリアルタイムで線量率情報を提供しながら国側で整理・解析を行い、最終的な結果は自治体への提供だけでなく放射線量等マップサイトで公開される⁸⁾(図6)。

この広域サーベイの結果から、また他のモニタリング活動の結果や土地利用状況に関する地理情報といったものと組み合わせ、空間線量率の相関、原発周辺地域の空間線量率の長期的な推移の予測など、東電事故における環境放射線に関する多くの知見が得られている^{9),10)}。

この事業が原子力規制庁に承継された後も現在まで年2回程度の頻度で行われており、長期にわたる環境放射線の動向を追跡するための基礎的なデータとしてひきつづき活用されることが期待される。

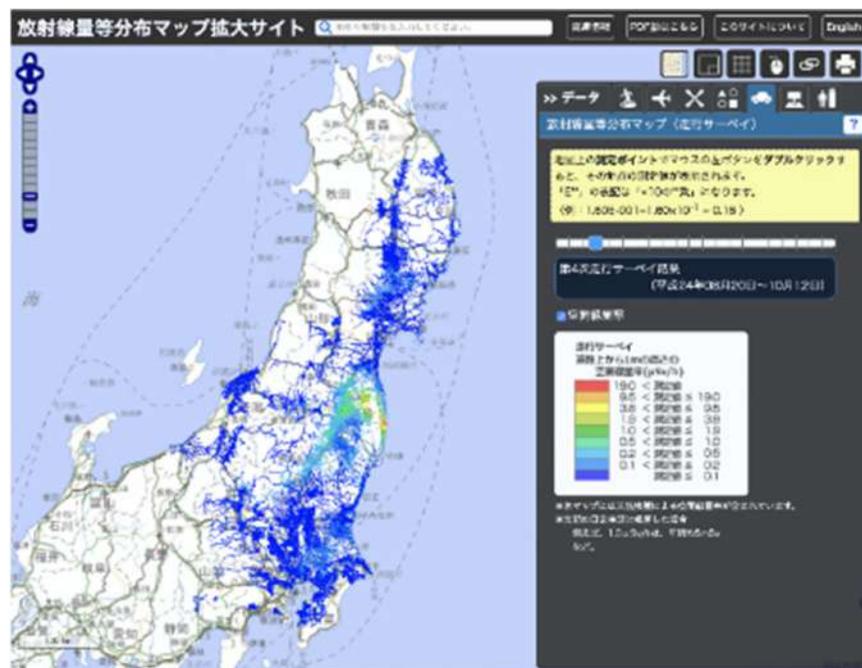


図7 国による東日本一帯の走行サーベイの結果の例。

3.3 農業復興への貢献

今回の事故では環境中に大量の放射性物質が放出され、広範な環境の汚染が発生した。農地においても同様であり、特に農業県である福島県では農地の除染と修復および営農再開が災害復興において極めて重要な課題である。

従来、圃場の土壌の放射性物質による汚染については、放射性物質を取り扱う事業所等で行われていると同様に、代表地点から採取した土壌を計測室に持ち帰り Ge 検出器などで測定する手法が一般的であった。地表面に接する部分以外を厳重に遮蔽した検出器を圃場内に直接置くことで土壌からの放射線を測る in-situ 測定も行われたが、圃場内で検出器を一点一点移動させながら測定するのは多大な労力が必要となる。今回の事故においてもこれらが行われたが、広域の汚染への迅速な対処は極

めて大きな困難を伴うものである。簡便な手法として高さ 1 m 程度の位置での空間線量率から推定する手法もとられたが、土壌以外からの放射線の寄与による精度の低さが問題となっている。

この困難を解消するため、KURAMA-II を活用した土壌汚染密度の迅速な測定手法を開発した。この手法では地表向けにコリメートした検出器を一定の地上高に置いて測定するが、この際発生する周辺からの放射線の影響をもう一つの検出器で測定して差し引く。これにより、地表に密着していない検出器でも適切に土壌からの放射線を測定することができる。実際に圃場でトラクタに装備して行った測定では、通常的手法では採取から結果受領まで 1 ヶ月かかるところをわずか 15 分程度の走行で可視化することができた。また通常の Ge 検出器による分析とも大変良い一致を示している（図 8）。

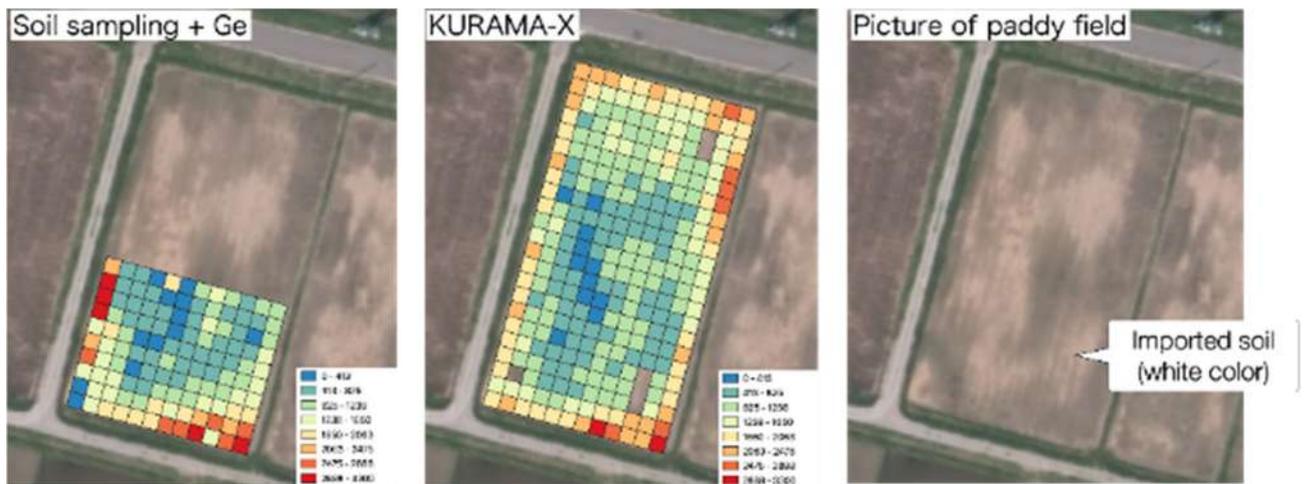


図 8 試験圃場における土壌汚染密度推定試験。圃場を 3 m 角に区切ってその中央で採取した土壌の 0~15 cm 深の平均濃度（左）とトラクタ搭載の KURAMA-II による所要時間 15 分程度の圃場内測定結果を土壌採取の 3 m 角の平均値で出力したもの（中央）。単位はいずれも Bq/kg。土壌採取は労力と時間の都合で圃場半分しか実施できなかったが、KURAMA-II と良い相関を示している。また KURAMA-II の結果は圃場内に投入された汚染のない客土の分布（右：薄い色の部分）とよく一致している。

この手法は実用段階に入っており、令和 3 年度までの農水省補助金事業で土壌の反射光を解析することで肥沃度の判定をすることができるシステムと組み合わせたロボットが開発された（図 9）。このロボットはガイダンスシステムによる高精度の走行と正確な汚染密度及び肥沃度のマッピングを可能とするもので、補助金事業に参加した日立造船株式会社から販売されるとともに、大熊町を中心とする特定復興拠点の農地の修復活動に投入されようとしている。



図 9 実証試験中の地力が見える化ロボット。トラクタに KURAMA-II による土壤汚染密度測定機能とハイパースペクトル解析による土壤肥沃度評価機能および高精度 GNSS ガイダンスシステムによる高精度測位と運転補助機能を搭載している。これをクラウドで処理して圃場の状態をリアルタイムで可視化する。

3.4 発災直後の面的なモニタリング

東電福島第一原子力発電所事故のような大規模災害では放射性物質による広域の汚染と大量の汚染・傷病者が発生し、過酷な環境下で限られた人や資機材により状況を把握し必要な防護措置や被ばく医療処置をとる困難な状況となる。特に ^{131}I 等の短寿命核種を考えれば、発災後 10 日間程度の間、面的な汚染状況等の分布を把握しながら優先度を判断し迅速かつ適切な防護措置や被ばく医療処置を行う必要がある。

しかしながら東電福島第一原子力発電所事故では、東日本大震災により電力や通信、交通のインフラに甚大な被害が発生した。測定やデータ収集の継続性の前提となるネットワークや電源、移動手段などのインフラ群が深刻な機能不全に陥り、事前に想定された緊急時環境線量情報予測システム (SPEEDI) を核としたモニタリング活動が事実上不可能となった。また、平成 30 年の北海道胆振東部地震でも全道のブラックアウトが発生し、一部地域で固定回線や携帯回線の喪失があっただけでなく、バックアップ電源の枯渇によるモニタリングポストの停止も発生した。

このような状況を踏まえ、想定外事象下でも迅速かつ面的に展開でき、線量率や ^{131}I のような短寿命核種に関する詳細なモニタリングが可能な体制を実現するモニタリング技術の開発を提案し、原子力規制庁の委託研究事業として実施した。この事業では東電福島第一原子力発電所の事故後のモニタリング活動で高い信頼性と実績を誇る KURAMA-II をベースにした人が携行可能な小型軽量な可搬モニタリングポストの開発、緊急時のモニタリングポスト等のための LPWA (Low Power Wide Area network) による自律型ネットワークの構築および低消費電力で手のひらサイズかつ極めて安価な超小型 KURAMA-II の開発を行なった。

可搬モニタリングポストについては、もともと小型軽量の KURAMA-II であることから、低消費電力な通信モジュールへの変更と耐候性の高い筐体に変更した程度で市販のポータブル電源と組み合わせ

せることで数日間の連続稼働が可能なものが出来上がっている（図10）。さらに検出器がC12137になったことにより、NaI(Tl)+光電子増倍管を採用するに従来の可搬型モニタリングポストに比べて高圧電源の省略による動作の安定化や軽量化、機械的強度の向上が実現し、大幅な機動性の向上を達成している。



図10 従来の可搬型モニタリングポスト（左）と KURAMA-II をベースとした可搬型モニタリングポスト（右）。大幅な小型軽量化と性能向上を達成している。

また自律型ネットワークについてはメッシュ型 LPWA である ZETA¹¹⁾を選び、島根県の協力のもと島根原発周辺で設定されているモニタリング地点を機動的に展開することに成功した（図11）。湖上で10 km を超える伝搬を確認しただけでなく、自動で最適なメッシュネットワークを構築する ZETA の中継機群を展開することで市街地や山間部でも良好なネットワークを構成することができた。さらに令和3年7月7日未明からの島根・鳥取の集中豪雨では、既設のモニタリングポストに設置された衛星回線が豪雨と通信途絶を起こしている。当時宍道湖を横断する経路での長距離通信の長期安定性試験を行っていた ZETA では通信途絶は起きなかった。このように、豪雨をもたらす強い雨雲がある場合の衛星回線の運用は十分注意が必要である。



図 11 島根県松江市および宍道湖周辺でおこなった ZETA によるモニタリング地点間の接続試験。10 km 以上の伝搬距離を達成しつつ、複雑な地形や市街地でも主要なモニタリング地点にあるセンサ（端末）と AP（基地局）を MOTE（中継局）で機動的に結ぶことに成功した。

超小型 KURAMA-II は Sony のシングルボードコンピュータである Spresense¹²⁾をベースに開発した（図 12）。Spresense は低消費電力でありながらマルチコア CPU により強力な演算能力と Neural Network Console での学習結果を実装する機能、また GPS やハイレゾオーディオ用高速 500kS/s ADC といった各種インタフェースも内蔵するオープンソースの日本発シングルボードコンピュータである。この Spresense の特徴を生かすため、従来の KURAMA-II で採用している C12137-00 の CsI(Tl)+MPPC と Shaping Amp のみを抜き出し、Shaping Amp からのパルスの波高分析をハイレゾオーディオ用高速 ADC で行うこととした。高速 ADC の能力は従来の放射線測定用のものと遜色なく、既製品の検出器と同等のエネルギー分解能を達成している。通信モジュールは自律型ネットワーク試験で良好な成績の得られている ZETA を採用しており、実際に島根県によって運用されている自律ネットワークを活用して宍道湖周辺各地から接続試験を行ったところ良好な成績を取っている。

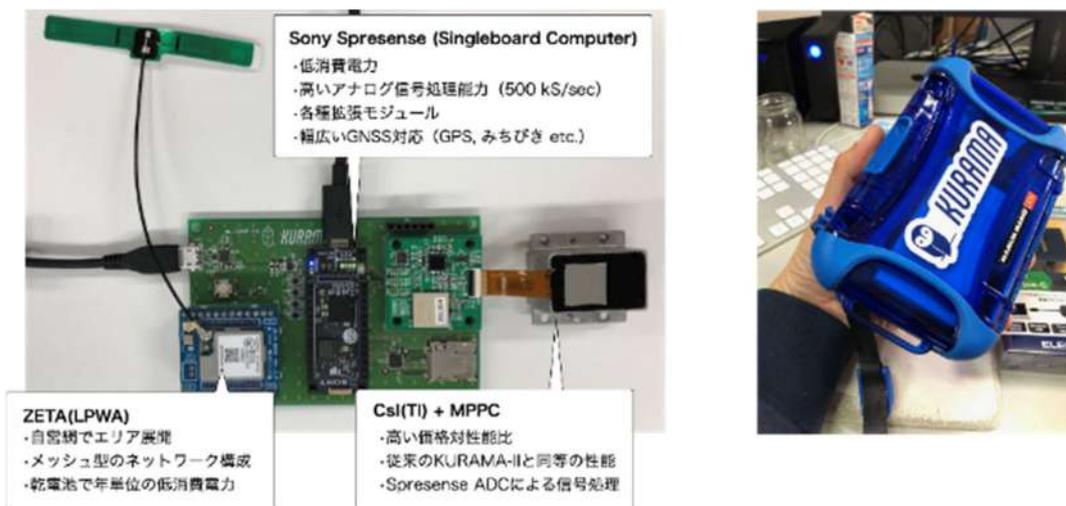


図 12 超小型 KURAMA-II の構成（左）。Spresense の演算能力と高速 ADC を最大限に活用した構成になっている。これを小型 Li-ion 電池と組み合わせて耐衝撃性をもつ防水ケースに入れ、各地に機動的に展開する（右）。

以上を総合し、既存のモニタリング体制の不足した柔軟性や機動性を高めるための合理的なモニタリング体制の構成を提案している（図 13）。すでに展開され一定の運用実績のある既存モニタリング体制を基盤とし、安価で展開や運用の負担がないメッシュ型 LPWA をバックアップ回線として運用する。緊急時には自然災害による被災や大規模停電などが想定されるが、その際はメッシュ型 LPWA ネットワークがその補完として機能する。LPWA ネットワークも被災することは想定されるが、特に設定なしに設置するだけで自動的にネットワークを構築するメッシュ型 LPWA 中継局を活用して機動的に補完する。このようにして既存のモニタリングネットワークの運用を支援するだけでなく、この LPWA ネットワークは各地に機動的に展開 KURAMA-II ベースの可搬型モニタリングポストや超小型 KURAMA-II のためのネットワークとしても機能し、きめ細かい情報収集を可能とするというものである。

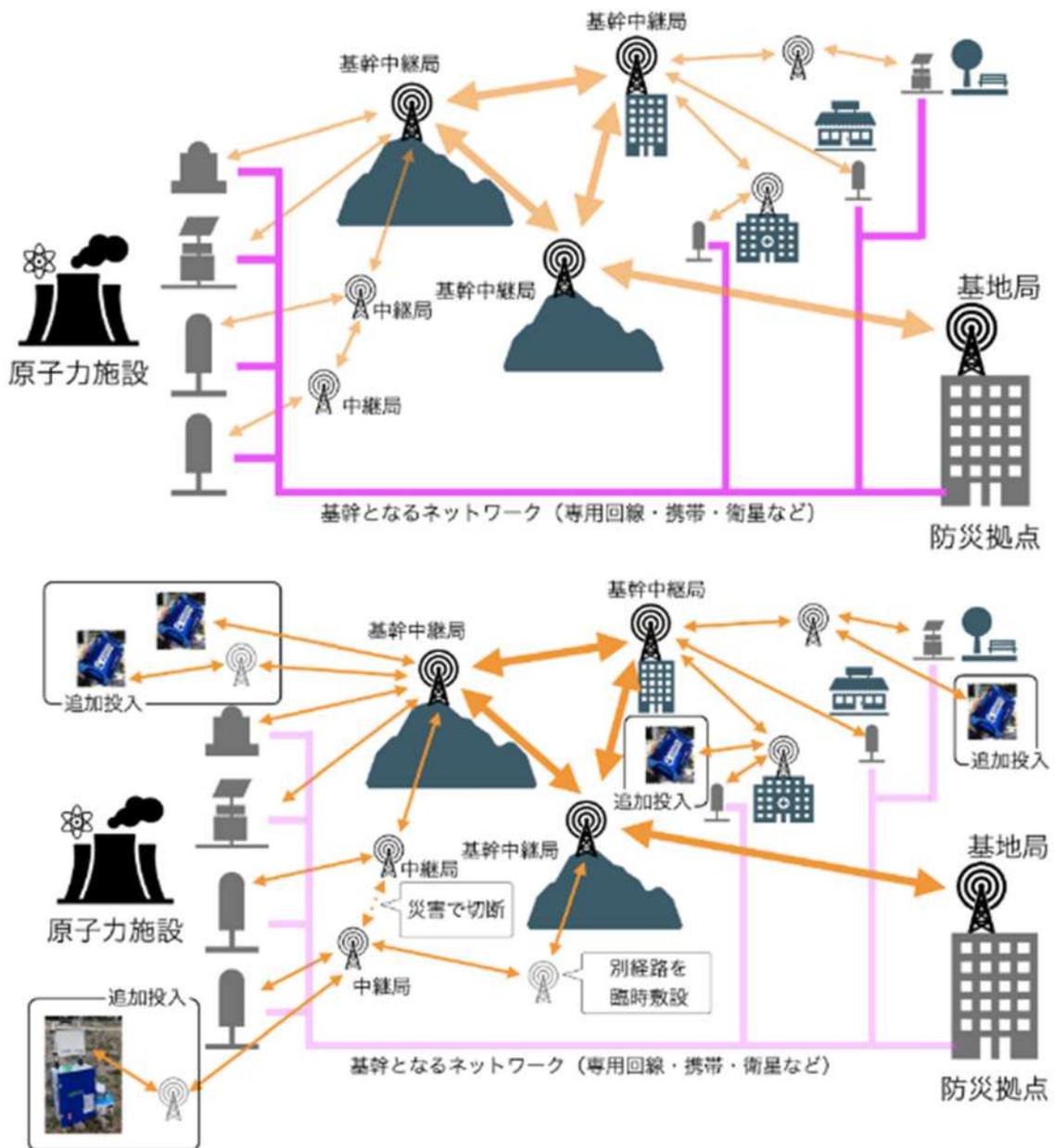


図 13 提案するモニタリング体制。バックアップ回線としての運用（上）がそのまま緊急時の機動的なモニタリング展開にも活用できる（下）。

4. KURAMA/KURAMA-II の開発を通じて学んだこと・考えたこと

これまでに KURAMA や KURAMA-II の開発や活用を通じて得た知見は体系化され、2017 年末には原子力規制委員会の放射能測定法シリーズに収録されることとなった。これからは、KURAMA や KURAMA-II の成果に基づく走行サーベイが原子力防災の一翼を担うこととなり、一層普及や活用が進むと期待される。これは、最初の KURAMA を開発した 2011 年 4 月以降、KURAMA や KURAMA-II の意義や価値を理解して下さった研究者、行政、住民、企業その他多くの方々とともに作り上げた成果である。本稿のまとめに代え、KURAMA や KURAMA-II の開発を通じて学んだことや考えたことを少し書きたい。

まず事故対応や KURAMA/KURAMA-II の開発や普及の活動を通じて触れた示唆に富むと考える事例を紹介する。一つは原発事故発生後しばらくした後行われたある大規模な環境調査での話である。その調査では、調査地点の住所と定められた調査区域記号とともに、調査に携行した GPS 端末の測位表示をそのまま調査用紙に書き写すことになっていた。しかし回収された調査用紙の記載は、度分秒表記と小数点表記の混在、書取りの際に勝手に桁を打ち切って記載、住所と県単位で一致しない緯度経度が記載される等が続発した。問題のなかったものは全体の半分程度だったようで、1 週間程度の調査自体だったにもかかわらず、そのミスの有無のチェックと修正に月単位の時間を費やすこととなったようである。

また、KURAMA-II の導入の際、あるユーザのたつての希望で、測定開始と終了を確実に行うためという理由で測定開始・停止ボタンを装備したものが納品されることとなった。しかし、納品後の使用説明の際には、放射線計測などの各種機器取り扱いの経験豊富な方々に操作いただいたにもかかわらず、測定開始ボタンを押すだけの操作を失敗する方がおられた。

通常これらの事例は失敗事例として取り上げられ、「指示通りに記載しなかった調査員の注意が足りない」「ボタン操作の確認が不十分である」としてマニュアルの増備やチェックリストの強化が行われがちである。

しかし、本当にそれでよいだろうか？もしこの思想で緊急時対応のための大規模なシステムや体制が構築されていたらどうだろうか？ただでさえ混乱する状況下で複雑な手順やチェックリストを確実にこなすことができるだろうか？つまり、本来見直されるべきは手順や実装の必要性や実施のためのコストそのものであり、そこに厳しい目を向けるべきである。

実は KURAMA や KURAMA-II の開発や運用は手順や実装の必要性を厳しく吟味している。意識しているのは普段通りの対応で緊急時をとらえることであり、測定で押さえるべき本質である。KURAMA-II は測定のための操作を一切必要としないので、平常時から路線バスによる連続モニタリングのような展開もできるし、使用中のデータも自動的に送られるので人為的なミスによる測定データの毀損のリスクは大幅に減少する。

さらに KURAMA-II ではデータそのものにも注意を払っている。ほとんどの導入希望の方から「周辺線量当量率（あるいは吸収線量率）が測れればよい。スペクトルデータは法令や指針等でも求められてない。もし異常が見つかったら追加調査する」といわれるところを、あえてスペクトルデータそのものを確保して様々な評価に活用できるようにしている。その有効性は先に示した医療用 RI の事例だけでも明らかであろう。むしろ緊急時、線量率に異常を発見したらその場に急行して追加調査というのは効率的と言えるだろうか？東電事故当時は道路や電気をはじめとするインフラが深刻なダメージを受けていたわけで、そんな中現地に向かえという指示を出すこと自体緊急時の現場に多大な負担をかけることとなる。残念ながら、このような部分におけるコスト意識は現在においても未だ著しく低い

と感じることが多いのが現状である。

研究所の一般公開で福島での活動の紹介をした後、参加された方からの質問等に答えていた時のことである。研究所の近隣にお住まいとおっしゃる方から、「原子炉で事故が起きたらどうしよう、と正直不安だった。しかし、予想しない事が起きた時でも、それにしっかり対応できる人たちがいるとわかったので安心した」という言葉を頂いたことがある。この言葉は、我々が体制やシステム、マニュアルを確実・忠実に守ることではなく、体制やシステム、マニュアルの裏にある物事の本質をしっかり考えて行動していくことが期待されていると理解している。

大学はより多くの研究成果を生み出すことが期待されている。技術職員の皆さんはそんな研究環境の維持や安全管理の要となる方々であり、その業務や活動には深く感謝するところである。そんな皆さんの活動に私の経験や考えるところが少しでも役立てば幸いである。

本稿には原子力規制庁「放射線安全規制研究戦略的推進事業費（JPJ007057）」および農林水産省「福島イノベーション・コースト構想に基づく先端農林業ロボット研究開発事業」の成果を含みます。

参考文献

- 1) M. Tanigaki et al., Nucl. Instrum. Meth. A **726**, 162(2013).
- 2) M. Tanigaki et al., Nucl. Instrum. Meth. A **781**, 57(2015).
- 3) 浜松ホトニクス, 放射線検出モジュール C12137,
<https://www.hamamatsu.com/jp/ja/product/type/C12137/index.html>
- 4) S. Moriuchi and I. Miyanaga, Health Phys. **12**, 541(1966).
- 5) JAEA, PHITS, <https://phits.jaea.go.jp/indexj.html>
- 6) 津田修一, 堤 正博, Jpn. J. Health Phys. **47**, 260(2012).
- 7) 福島県「福島県における自動車走行サーベイモニタリング」
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/ps-soukou.html>
- 8) 原子力規制庁, 放射線量等分布マップ拡大サイト (2022年3月まで)
<https://ramap.jmc.or.jp/map/>
JAEA, 放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト (2022年4月より)
<https://emdb.jaea.go.jp/emdb/contents/1/>
- 9) 原子力規制委員会, 放射性物質の分布状況等に関する調査成果報告書
<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/338/list-1.html>
- 10) 斎藤公明他, 日本原子力学会誌 **59**, 344(2017).
- 11) ZETA Alliance, <https://zeta-alliance.org/jp.php>
- 12) Sony Spresene, <https://developer.sony.com/ja/develop/spresense/>

<技術発表(1)>

負の遺産を整理する ～長期未整理放置の RI 汚染物の廃棄について～

京都大学複合原子力科学研究所
技術室 吉永尚生

1. はじめに

原子炉棟ホットラボラトリーは多種の放射性同位元素 (RI) を非密封状態で取り扱うことのでき、その取扱数量も大きいことが特徴のひとつである。また RI のみならず、実験用核燃料物質をも取り扱える施設としては国内において貴重な存在である。当所は京都大学の附属研究所として開所以来、この特徴を活かした多くの研究成果が生み出されている。しかし、一方で研究を遂行するにあたり避けて通れないのが、放射性廃棄物の問題である。当所に発表者が赴任して 10 年余りになるが、着任当時すでに適切に保管廃棄することなく、大型のグローブボックスや流し台など、RI や核燃料物質で汚染された不要物がホットケープ地下実験室に放置されたままであった。

こうした過去のしがらみから解放され、新たなる安全管理強をはかるために保管廃棄庫を新設する計画が 2020 年 12 月から検討されている。この発表では、その計画に先んじて実施した当該実験室の整理について報告する。

2. 業務の流れ

関係者が集まりワーキンググループが立ち上げられた。ここには、核燃料管理室、RI 管理室などからメンバーが集まり、整理する対象物の種類、汚染の状況などを調査した。この調査結果に基づいて部屋に置いてある全ての物品を解体、切断して 200L ドラム缶に収納、ホットラボラトリー屋外管理区域に仮移動し、最終的に所内の汚染物貯蔵庫へドラム缶を運搬、保管廃棄することとした。実作業（解体、詰め替え作業）は「京都大学複合原子力科学研究所原子炉棟ホットラボラトリー・ホットケープ地下実験室における物品廃棄作業」として外注することとした。

3. 業務の内容

発注の内容として以下に仕様書の一部を記載する。

3.1 概略

地下実験室に残置している大型物品等を適切な大きさに切断し、200L ドラム缶に格納し、指定の場所に運搬するまでの作業を委託する。

3.2 作業場所

京都大学複合原子力科学研究所

- ・ 原子炉棟ホットラボラトリー・ホットケープ地下実験室（切断等の作業場所）
 - ・ ホットケープセル室（ドラム缶搬出時の中継点）
 - ・ ホットラボラトリー屋外管理区域（ドラム缶の仮運搬先）
- （いずれも放射性同位元素等規制法に基づく管理区域内）

3.3 業務の詳細

- ・ 物品は放射性同位元素、核燃料物質で汚染されている可能性がある。
- ・ 処理する物品は 200L ドラム缶約 30 本相当である。なお、詳細見積もり検討のための現地視察は可能。

- ・ 大型の物品は地下実験室内で切断すること。
- ・ 切断はグラインダー等の火気を使用しない方法で行うこと。
- ・ 切断作業は粉じんが撒きちらないように、地下実験室にビニールハウス等を設置し、その中で行うこと。
- ・ ビニールハウスには局所廃棄装置を設置し、プレおよび HEPA フィルターを通した上で地下実験室内に排気すること。
- ・ 200L ドラム缶への仕分け（可燃、不燃、難燃等のこと）は本学担当者が支持する。
- ・ 作業工具類、200L ドラム缶の搬入の際は、ホットケープ室のクレーンを使用することができる。
- ・ 収納済みの 200L ドラム缶を屋外管理区域まで運搬すること。
- ・ 200L ドラム缶重量/本は 200kg 以下とすること。
- ・ 200L ドラム缶/本の線量率は表面：2mSv/h 以下、1m:100 μ Sv/h 以下とする。
- ・ ドラム缶に格納した物品を写真にとって内容物と重量を比較できるリストを作成する。
- ・ 200L の SUS ドラム缶をパレット上に 4 個置きとする。
- ・ 200L の SUS ドラム缶とパレットは本学で準備する。

4. 放射線管理

作業開始前から終了後までの放射線管理の結果を表にまとめた。

表 放射線管理のまとめ

	管理内容	結果
部品廃棄作業前の室内表面汚染状況等の調査	<ul style="list-style-type: none"> ・ 室内の空間線量率の分布を測定した。 ・ 廃棄作業対象の機器類（グローブボックス、ダクトなど）の内部をスミアし、低 BG α/β カウンターで表面密度を測定した。 ・ このスミアろ紙を Ge 半導体検出器で核種分析した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 空間線量率は最大$\sim 0.2\mu$Sv/h であった。 ・ 例えばグローブボックス内は、有意に α 及び β 核種で汚染されていることを確認した。 ・ γ スペクトロメトリの結果、Am241、Ra226 とその娘核種が検出された。 ・ これらの結果から物品廃棄作業時の放射線管理計画を立案した。
物品廃棄作業中の汚染管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 局所排気の運転、ゾーニングを行った上で作業を進めた（作業の早い段階でホットケープ室 1F に引き上げたドラム缶の縁に RI が付着していることがわかった。このため、養生範囲を広げる、作業者は決められた作業のみに携わる、を徹底させた）。 ・ 室から作業員が退出する際は、全身サーベイを行った。 ・ 毎日の作業終了時には、室の出口（螺旋階段の 1F 入口）を直接及びスミア法で汚染検査した。 ・ スポットで作業環境測定を行い、作業者の内部被ばく量を推定した。 ・ 廃棄物を収納した 200L ドラム缶はその重量を測定した後、直接法によるドラム缶表面のサーベイ、スミアサンプルの採取及びドラム缶表面線量率を測定した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 室からの退出時に行った全身サーベイの結果には、異常はなかった。 ・ 作業終了時の室の出口の汚染検査の結果も異常はなかった。 ・ 作業者の内部被ばくに係る実効線量は、解体作業に従事した者（グリーンハウス内で解体作業を行った者）は 0.6mSv、それ以外の者は 0.06mSv と評価した。なお、外部被ばくに係る実効線量は最大 10μSv であった。 ・ 発生したドラム缶総数は 31 本であった。 ・ ドラム缶表面の表面汚染レベルは管理区域持ち出基準値に比べて十分に小さいことを確認した。 ・ ドラム缶表面の線量率は最大 2μSv/h であった。
物品廃棄作業終了後の室内表面汚染	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第 1 回目の除染作業後にスミア法にて、室床と一部の壁の汚染状況を調査した。 ・ 上記を受けて、追加の除染を行い、汚染状況を調べた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第 1 回目の汚染状況調査の結果、床及び壁はいずれの箇所も、$\alpha \sim 0.01\text{Bq}/\text{cm}^2$、$\beta$ ~ 検出限界値 ($< 0.01\text{Bq}/\text{cm}^2$) であった。室の中央部にまったく問題

染状況の調査		<p>ないレベルであるが、若干のα汚染が残されていた。</p> <p>・第2回目の汚染状況の調査の結果、スミア法ではα汚染は検出されなくなった。しかし、サーベイメータを直接当てると、床シートの傷部分に汚染が残っていることがわかった。このため、こういった傷が目立つ部分は、シートの上から養生を行うことにした。</p>
--------	--	---

5. 業務を終えて

長年にわたり事実上放置されていた物品を保管廃棄物として適切に処分できた。これにより「過去のしがらみから解放され、新たなる安全管理強化のために保管廃棄庫を新設する計画」を次の段に移行できることは、施設管理者の一人として少し肩の荷がおろせた感がある。一方で、予想していた通り解体中もしくは解体作業以前から汚染されていたと思われる箇所が明らかとなり、この除染作業にはかなりの作業時間と精神的緊張が強いられた。また、解体に用いた電動工具については外注先で準備したものであったが検査により汚染が見つかり、できうる限り解体して清掃したものの、最終的には管理区域外に持ちだす許可が下りず、施工業者に返却することが叶わなかったのは残念である。

今後施設の老朽化に伴う補修や更新といった業務が多数発生することが予測される。本発表がこれからの担当者の参考になれば幸いである。

<技術発表(2)>

MVP を用いた中性子の遮蔽計算

京都大学複合原子力科学研究所
技術室 上田 哲也

1. はじめに

京都大学複合原子力科学研究所の臨界集合体棟 (KUCA) の原子炉管理区域に隣接するエレベーターを各種法令に適合させる必要があるため、更新をする計画がある。通常の場合にあるエレベーターとは異なり、交換するエレベーターは、KUCA 内にある臨界集合体を運転することによって生じる中性子に数10年にわたり曝されているため、単純に産業廃棄物として処理することができない。ある種の確認プロセスを経て、中性子による影響がないことを確認した上で、廃棄することとなる。

ここで、中性子による影響とは「放射化」のことを指す。金属やコンクリートが中性子に曝されると、構成元素と中性子の間で原子核反応が起こり、金属やコンクリートが放射能を持つようになる現象が「放射化」である。

「放射化」の程度は予め、予想計算で見積もることができる。「放射化」を評価するには、金属やコンクリートを曝すことになる中性子のエネルギースペクトルを計算することが前提となる。原子力の分野において、スペクトルの計算には従来から様々な計算コード（プログラム）が使われてきたが、コンピュータの性能の向上に伴いモンテカルロコードというタイプの計算コードが最近では主流となっている。

今回のスペクトルの計算では KUCA の各種計算に実績がある MVP (Monte Carlo code for Vector Processors の略で、日本原子力研究所において開発されたプログラムである。評価済み核データを用いて中性子・光子の輸送計算を行なう。) コードを使用することにした。この発表においては、発表者が MVP 初心者であるため、計算コードの使い方に慣れるという意味において、簡単な球体系にて計算を行った結果をご紹介します。

2. MVP (中性子輸送計算モンテカルロコード) 動作環境の準備

MVP は UNIX-OS 上で動作させる。今回は既に MVP がインストールされているワークステーションにアクセスし、ワークステーション上で下記の手順で計算を行った。

(1) インプットデータという計算指示を行うために必要なテキスト (評価するジオメトリ、使用する核データの種類、核反応の指定、計算結果の表示方法の指示 (タリーと呼ばれる) といった、各種のコマンドを記述したもの) を自室 PC のテキストエディタにて作成。

(2) SCP というファイル転送ソフトでサーバへファイルを転送。

(3) TeraTerm というコマンドプロンプトに似たソフトで MVP に計算命令を出す。

3. インプットデータ作成

計算指示を出すためのインプットデータの作成をおこなった。今回の体系は図に示すように、球面のポリエチレン材の中心に 2MeV の単色中性子点線源を配置したものとした。球体の中心から数センチごとの仮想的な球表面にてエネルギー (eV) 及び中性子束 (中性子数/(cm²・秒)) の記録を行った。(俗に、タリーするという)。

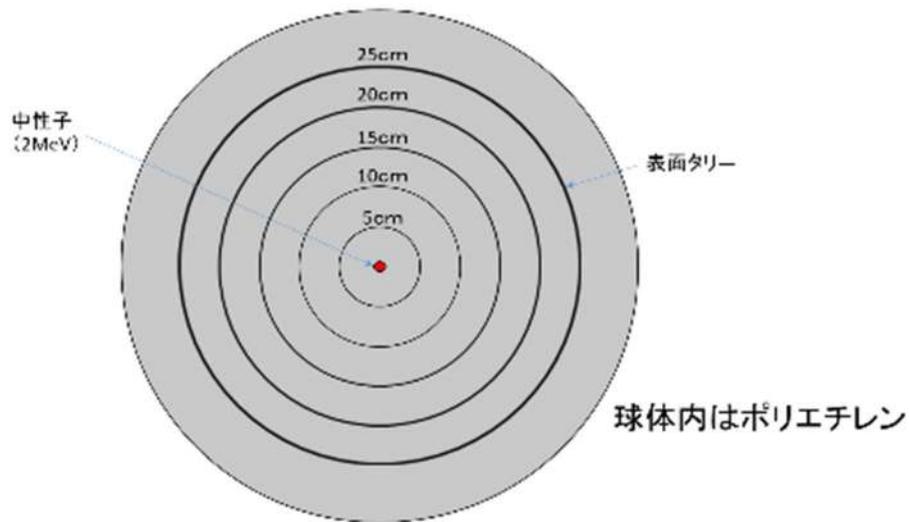


図 今回計算した体系

4. 計算結果

タリーによって、球体の中心より 5cm～25 cmにおけるエネルギー (eV) ごとの中性子束(中性子数/(cm²・秒))、相対誤差の結果がでた。この結果を別途考察しているが、その詳細は発表にて説明する。

5. 今後の目標

最終的な目標は、エレベーター部品の放射化の検討である。そのため、以下の内容を行なう。

(MVP コードで行うこと)

- ・エレベーターを含む炉室を模擬した単純な体系を構築する。
- ・その体系で使う中性子線源には、KUCA の運転で生ずる中性子スペクトルのデータを使う。
- ・エレベーター内における中性子スペクトルを計算する。

(燃焼計算と呼ばれる段階で行うこと)

- ・MVP コードで得た中性子スペクトルに KUCA の積算運転時間、出力を考慮した上で、別の計算コードを使ってエレベーター構成部品の放射化量を推定する。

参考文献

MVP/GMVP 第3版：連続エネルギー法及び多群法に基づく凡用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード(翻訳資料)(2017年3月 日本原子力研究開発機構 長家康展 奥村啓介 櫻井健 森貴正)

<技術発表(3)>

冷却設備に関する不適合について

京都大学複合原子力科学研究所
技術室 荻野晋也

1. はじめに

京都大学研究用原子炉（KUR）では2020年2月から3月にかけて、これを冷却するための冷却設備の3台ある熱交換器の内、No.2の分解点検工事を実施した。分解点検及び内部の検査の結果、熱交換器に機能上有害な損傷、腐食等は無く、引き続き使用できることを確認した。しかし、これの組み立て時に2次冷却水配管に凹みを与えてしまう事象と、その後の使用中に熱交換器から2次冷却水が漏れ出す事象が発生した。それぞれの事象による性能の変化はなく、問題はないことを確認した。今回はこれらの事象の詳細、原因及び対策について発表する。

2. 2件の不適合

①2次冷却水配管の変形

2020年3月に熱交換器No.2の点検を終えた後、熱交換器と冷却設備系統との接続を行った。このとき熱交換器と熱交換器下部側の1次冷却水配管バルブとの間にガスケットを設置する際に、この2点間に隙間を作るためのジャッキアップが必要であった。方法として熱交換器本体を持ち上げることで隙間を作るのであるが、通常では熱交換器下部側を持ち上げることを、作業者の判断により熱交換器上部と接続されている2次冷却水配管を持ち上げることで熱交換器を持ち上げてしまった。これにより2次冷却水配管に熱交換器の重量が加わったため配管が耐え切れずに変形してしまった。

配管の状態を確認したところ2か所に変形が生じており、直径300mmの配管に最大深さ18mmの凹みが生じた。配管に対し非破壊検査である浸透探傷検査を行ったところ機能上有害な損傷やひび割れはなく、また超音波を使用した配管の肉厚測定を行ったところ肉厚の変化等はなかった。この変形による耐震性能に関する強度計算を行ったところ、これも問題ないことがわかった。冷却設備の通水試験を行ったところ、圧力及び流量に問題はなかった。

この不適合の原因は、作業方法を作業者が独自に変更し相談することなく実施したという作業チーム間における「作業手順の確認及び意思疎通の不足」と、作業手順書にジャッキアップ方法が明記されていなかったという「作業手順書の不備」であると考えられる。前者の対策については作業開始前のミーティングにおいて予定している作業内容及び手順を確認し、作業方法について入念な確認を行うことで工事を安全に進められるようにする。手順の変更を行う場合は、これについて相談する。また、後者については組み立てを行うことは記載していたが、そのジャッキアップ方法などの具体的な手順については記載されていなかった。このことから、作業全体を詳細に記載する必要はないが、周辺機器に対して損傷のおそれがある作業は、作業者にその可能性の低下を考慮した作業手順を計画させ、作業手順書にその詳細を記載させることを以て対策とした。

②熱交換器No.2の水漏れ

2020年9月のKUR起動前点検中に弱レベル放射性排水槽の水位上昇を発見した。熱交換器室に向かったところ、熱交換器No.2から水漏れが発生していた。漏水箇所を確認すると、

熱交換器の伝熱管を束ねる管板と伝熱管を納めるシェル胴との間にあるガスケットがはみ出していた。熱交換器を解体しガスケットを調査したところ、以下のことが予想された。

- i) ガスケットに残された圧痕から、真円であるはずのガスケットが縦楕円形状に歪んで取り付けられていたことが考えられた。
- ii) ガスケットが歪んで取り付けられた原因として、取り付け時に管板とシェル胴側フランジの水平が取れていなかったこととシール剤の塗布量が多すぎたことが考えられた。
- iii) 漏水箇所のシール剤に接着不良の痕跡が見られたため、管板及びシェル胴側フランジを接続する際に、シール剤の流動性によりガスケットが滑った可能性があった。

熱交換器の状態確認後、組み立てを行う際には上記の点に注意して手順を進めた。また、2次冷却水配管が変形する事象があったことから、手順については入念に確認した。その結果、元通り復旧することができ、KURの運転を行うことができた。

この不適合については組み立て手順において注意すべき点が明確でなかったために発生したものである。よって、作業手順書に上記の点について追記し、注意することを作業チーム間で共有することが対策として有効である。注意すべき点を明確にすることは他の工事においても重要であるので、作業者が作業時に気を付けるべき点及び担当者が注意して監視する点について熟慮し、手順への反映を行い実践していく必要がある。

3. まとめ

以上の2件から考えられる改善すべき点は、作業手順については今一度見直し注意すべき点を明確にすることと、これを作業員及び担当者がお互いに齟齬の無いように情報共有することであると考えられる。これまで作業方法については作業員にとって作業を円滑に進められるように、また危険が無いようにすれば問題ないと考えていた。しかし、作業員が現場に不慣れであった場合は間違っているまたは危険な行為であるという認識が無いまま作業を進めてしまう可能性があるということを理解して、作業を計画し監督していく必要がある。

<技術発表(4)>

液体廃棄物分析用放射能測定装置の設置について

京都大学複合原子力科学研究所
技術室 三宅 智大

1. はじめに

京都大学複合原子力科学研究所（以下「研究所」という。）に設置されている液体廃棄物分析用放射能測定装置は、試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則第31条、試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転に関する規則第14条の対象機器で、廃棄物処理場の廃液貯留槽及び監視貯留槽、臨界集合体棟の廃液タンクに貯留されている液体廃棄物をバッチ方式により測定を行い、全 α 及び全 β 放射能の計測ができる既設の装置である。今回は、この液体廃棄物分析用放射能測定装置について、設計及び工事の方法の承認（以下「設工認」という。）申請を行いました。

● 設工認の経緯

- 2019年、排水監視モニタ（昭和59年設工認承認）について、経年劣化を理由に更新を予定していた。設工認の有無について、当研究所としては、保安規定に記載されていないモニタ且つ、平成24年度に、所外モニタリングステーション（原子炉設置変更承認申請書（研究用原子炉の変更）（以下「申請書」という。）と同じ分類である）について、設工認をせずに更新を行っていたため、排水監視モニタについても、設工認を無しの方針で進めたい旨、原子力規制庁へ行政相談を行った。
- 相談の結果、①現在の申請書では、液体廃棄物の排水濃度限度以下であることの担保について、排水監視モニタ又は、バッチ方式なのか不明確なため、明確にするための修正が必要。②排水濃度限度以下を担保しているものについては、設工認が必要。以上2点について、指摘事項が挙げられた。
- ①については、他部でも申請書の修正案件があったため、そちらと一緒に修正を行う旨、お伝えした。②については、バッチ方式が排水濃度限度以下を担保しているため、バッチ方式を設工認申請する旨、お伝えした。

2. 液体廃棄物分析用放射能測定装置について

原子炉設置変更承認申請書の本文の「チ.放射線管理施設の構造及び設備」の「(1)屋内管理用の主要な設備の種類」の「(i)放射線監視設備 分析用放射線測定装置」であり、廃棄物処理棟測定室に設置されており、以下の装置から構成されている。また、今回の設工認申請は、全 α 放射能計測装置及び、全 β 放射能計測装置のみである。

- 全 α 放射能計測装置
 - ZnS(Ag)シンチレータ 日立製作所（アロカ）製 ZD-451FU
 - 計測装置 日立製作所（アロカ）製 TDC-105
- 全 β 放射能計測装置
 - GM管 日立製作所（アロカ）製 WD_GM
 - 計測装置 日立製作所（アロカ）製 TDC-105B
- 液体シンチレーションカウンタ※
 - Perkin Elmer 製 Tri-Carb2910 TR

3. 設工認申請

- 試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則（放射線管理施設）

第三十一条 工場等には、次に掲げる事項を計測する放射線管理施設が設けられていなければならない。この場合において、当該事項を直接計測することが困難な場合は、これを間接的に計測する施設をもって代えることができる。

二 放射性廃棄物の排水口又はこれに近接する箇所における排水中の放射性物質の濃度

- 試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則（工場又は事業所において行われる廃棄）

第十四条 法第三十五条第一項の規定により、試験研究用等原子炉設置者は、試験研究用等原子炉施設を設置した工場又は事業所において行われる放射性廃棄物の廃棄に関し、次の各号に掲げる措置を講じ、廃棄前にこれらの措置の実施状況を確認しなければならない。

六 液体状の放射性廃棄物は、次に掲げるいずれかの方法により廃棄すること。

イ 排水施設によつて排出すること。

七 前号イの方法により廃棄する場合は、排水施設において、ろ過、蒸発、イオン交換樹脂法等により、吸着、放射能の時間による減衰、多量の水による希釈その他の方法によつて排水中における放射性物質の濃度をできるだけ低下させること。この場合、排水口において又は排水監視設備において排水中の放射性物質の濃度を監視することにより、周辺環境区域の外側の境界における水中の放射性物質の濃度が原子力規制委員会の定める濃度限度を超えないようにすること。

- 設計条件

- 全 α 放射能計測装置は、液体廃棄物の全 α 放射能濃度が排水濃度限度以下であることを計測可能なこと。
- 全 β 放射能計測装置は、液体廃棄物の全 β 放射能濃度が排水濃度限度以下であることを計測可能なこと。

- 設計仕様

- 全 α 放射能計測装置

- (1) 検出器：ZnS (Ag) シンチレータ 1台
- (2) 計測装置 1台
- (3) 測定対象： α 線
- (4) 検出効率：10%以上

- 全 β 放射能計測装置

- (1) 検出器：GM管 1台
- (2) 計測装置 1台
- (3) 測定対象： β 線
- (4) 検出効率：20%以上

4. 使用前事業者検査

- 検査の方法

- 被検査部室長は、検査受検計画書審査願（以下「計画書審査願」という。）を検査小委員会に提出する。
- 計画書審査願には検査受検計画書（以下「計画書」という。）を添付する。計画書は、定期事業者検査の場合は設備担当部室が、使用前事業者検査等の場合は個別業務のワーキンググループが作成する。記載事項は、試験炉規則に定める開始前の報告（定期事業者検査の場合）または

使用前確認の申請（使用前事業者検査等の場合）において必要な記載事項に準ずる。

- 計画書審査願は、原則、使用前事業者検査等にあつては原子力規制委員会に使用前確認の申請を行う1か月以上前、定期事業者検査にあつては原子力規制委員会に開始前報告を行う1か月以上前までに提出する。但し、期限までに提出できない場合には、あらかじめ委員長にその理由と対処について説明し、了承を得なければならない。
- 委員長は計画書審査願を受理してから原則として2週間以内に小委員会を開催する。
- 小委員会に提出された計画書審査願は、小委員会においてその内容を審査する。小委員会から計画書の内容に関し改めるべき事項があると指摘を受けた場合は、被検査部室長は速やかに計画書の修正版を小委員会に提出し、再審査を受けなければならない。
- 計画書に問題がなければ小委員会は計画書を承認し、委員長は被検査部室長にその旨を通知する。
- 検査項目
 - 外観検査：外観に機能上有害な損傷、腐食、変形、亀裂等がないことを立会により確認する。
判定基準：機能上有害な損傷、腐食、変形、亀裂等がないこと。
 - 性能検査：全 α 放射能計測装置においては、検出効率が10%以上、全 β 放射能計測装置においては、検出効率が20%以上であることを確認する。
判定基準：全 α 放射能計測装置においては、検出効率が10%以上、全 β 放射能計測装置においては、検出効率が20%以上であること。
 - 員数検査：全 α 放射能計測装置においては、ZnS (Ag) シンチレータ、計測装置、及び全 β 放射能計測装置においては、GM管、計測装置が設工認に記載された員数どおり廃棄物処理棟測定室に設置されていること確認する。
 - 判定基準：全 α 放射能計測装置においては、ZnS (Ag) シンチレータ1台、計測装置1台及び、全 β 放射能計測装置においては、GM管1台、計測装置1台が廃棄物処理棟測定室に設置されていること。
 - 品質管理の方法等に関する検査：設工認申請書及び品質記録が準備されていることを確認する。
判定基準：設計及び工事に係る保安活動が、承認された設工認申請書に定められた設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに従って行われていること。

5. 今後について

- 原子炉設置変更承認申請書（研究用原子炉の変更）から、排水監視モニタの記載を削除し、バッチ方式で測定し、排水濃度限度以下であることを確認している旨、記載を追加する。
- 当初の目的であった、排水監視モニタの更新を設工認無しで更新を行う。

【オンライン研修】

1. 目的

原子炉、放射線関連施設等の保守、安全管理及び関連設備の維持管理は社会的影響の大きい業務であり、現場で業務に携わる技術職員の役割は重要である。

本年度2日目の研修として、一般社団法人安全衛生マネジメント協会によるオンライン研修を行う。本研修は、業務を遂行する上での有益な知見を得ることにより、実務に役立てることを目的として実施する。

2. 受講者名簿

	所属	氏名	所属専門技術群
1	複合原子力科学研究所技術室	張 儉	第5 専門技術群
2	複合原子力科学研究所技術室	吉野 泰史	第3 専門技術群
3	複合原子力科学研究所技術室	奥村 良	第5 専門技術群
4	複合原子力科学研究所技術室	竹下 智義	第5 専門技術群
5	複合原子力科学研究所技術室	藤原 靖幸	第5 専門技術群
6	複合原子力科学研究所技術室	吉永 尚生	第5 専門技術群
7	複合原子力科学研究所技術室	阿部 尚也	第5 専門技術群
8	複合原子力科学研究所技術室	長谷川 圭	第5 専門技術群
9	複合原子力科学研究所技術室	牧 大介	第5 専門技術群
10	複合原子力科学研究所技術室	栗原 孝太	第5 専門技術群
11	複合原子力科学研究所技術室	大野 和臣	第5 専門技術群
12	複合原子力科学研究所技術室	飯沼 勇人	第5 専門技術群
13	複合原子力科学研究所技術室	井本 明花	第5 専門技術群
14	複合原子力科学研究所技術室	荻野 晋也	第5 専門技術群
15	複合原子力科学研究所技術室	金山 雅哉	第5 専門技術群
16	複合原子力科学研究所技術室	小林 徳香	第5 専門技術群
17	複合原子力科学研究所技術室	田中 良明	第5 専門技術群
18	複合原子力科学研究所技術室	中森 輝	第5 専門技術群
19	複合原子力科学研究所技術室	平井 康博	第6 専門技術群
20	複合原子力科学研究所技術室	丸山 直矢	第5 専門技術群
21	複合原子力科学研究所技術室	山田 辰矢	第5 専門技術群
22	複合原子力科学研究所技術室	富永 悠太	第5 専門技術群
23	複合原子力科学研究所技術室	白鳥 篤樹	第5 専門技術群
24	複合原子力科学研究所技術室	前本 桂太	第5 専門技術群
25	複合原子力科学研究所技術室	阪本 雅昭	第5 専門技術群
26	複合原子力科学研究所技術室	南 馨	第5 専門技術群
27	複合原子力科学研究所技術室	橋本 晋太	第4 専門技術群
28	複合原子力科学研究所技術室	大橋 健太	第4 専門技術群
29	フィールド科学教育研究センター	勝山 智憲	第4 専門技術群
30	フィールド科学教育研究センター	西岡 裕平	第4 専門技術群
31	フィールド科学教育研究センター	中川 智之	第4 専門技術群

32	フィールド科学教育研究センター	柴田 泰征	第4 専門技術群
33	フィールド科学教育研究センター	上西 久哉	第4 専門技術群
34	フィールド科学教育研究センター	紺野 絡	第4 専門技術群
35	フィールド科学教育研究センター	藤井 弘明	第4 専門技術群
36	フィールド科学教育研究センター	境 慎二郎	第4 専門技術群
37	工学研究科附属 桂インテックセンター	西崎 修司	第1 専門技術群

3. プログラム

開催日時：令和4年2月10日（木） 9：00～16：30

開催場所：京都大学複合原子力科学研究所等（各勤務場所に応じた居室や会議室等での受講とする。）

プログラム

時 間	テーマ：「KY（危険予知）活動実践研修」 講師：一般社団法人安全衛生マネジメント協会 手嶋 義雄
8:45 ～ 9:00	受付（Zoom 接続開始）
9:00 ～ 9:05	業務連絡
9:05 ～ 9:30	開講 ゼロ災運動 災害統計
9:30 ～ 9:50	ヒューマンエラー<1> 災害発生メカニズム
9:50 ～ 10:00	休 憩
10:00 ～ 10:50	ヒューマンエラー<2> ヒューマンファクターとヒューマンエラー <演習>盲点実感 <演習>指差呼称
10:50 ～ 11:00	休 憩
11:00 ～ 12:00	KY活動の目的 各種KY活動 リスクアセスメント KY <DVD 視聴>リスクアセスメント KY <演習>リスクアセスメント KY 活動表作成
12:00 ～ 13:00	休 憩
13:00 ～ 13:50	危険の洗い出し <DVD 視聴>危険作業 <演習>危険の洗い出しと対策
13:50 ～ 14:00	休 憩
14:00 ～ 15:20	基礎4 ラウンド法 手順説明 <DVD 視聴>基礎4 ラウンド法 <演習>基礎4 ラウンド法演習、成果発表・コメント

15:20 ～ 15:30	休憩
15:30 ～ 16:30	各種演習 現地 KY・一人 KY・健康 KY まとめ 閉講

4. 研修内容

第5 専門技術群専門研修会の2回目では、例年見学会を企画しているが、今年度も新型コロナウイルス感染症拡大防止の観点からオンライン研修とした。一般社団法人安全衛生マネジメント協会より、講師をお招きして「KY（危険予知）活動実践研修」をテーマに実施した。

本研修では、職場における各種安全衛生活動の中でも、製造業や建設業では既に広く知られている各種「KY（危険予知）」活動を習得し、日ごろの現場作業を安全に遂行する上での労働災害の防止に関して学ぶことができた大変有意義な研修であった。

<研修会参加者感想>

・今回の研修会では先に述べた先生方や技術職員の皆さんが研究や業務を通じて得た知識や技術が共有され、私にとっては今後の業務に取り組むにあたり、大変、刺激となった。今回得た知識や考え方を仕事に活かしていきたい。

・全体としての感想は原子炉・RI由来の廃棄物の廃棄に係る発表が多かったと感じた。背景として今後研究所として廃炉や RI 廃棄物の廃棄という大きなミッションがあるためだと感じた。業務においても参考とできる発表もあったので勉強になったと感じた。ここからは特に自分の業務の参考となった吉永氏による「負の遺産整理～長期未整理放置の RI 汚染物の廃棄について～」について参考になった点や感想について記載させていただく。発表は長年放置されてきたホットラボ地下の汚染物の廃棄業務を行うといった趣旨の発表であった。特に印象に残っているのが汚染物拡散させないようにする措置である。拡散を防ぐため養生を徹底的に施し且つ局所排気装置を設置し HEPA フィルターを通した上で排気を行っていた。汚染の度合いにもよるとは思うが、ある一定基準以上の汚染物を切断排気する場合は周知な準備が必要との認識を得ることができた。また工事業者の工具が汚染で持ち帰れなかったという話があり、契約時からそういった点にも留意が必要との事などを聴けて参考になった。CA でも今後同様の作業が発生する場合は考えられるので非常に参考になった。

・質問を探そうにしつつ聞くようにしていたが、今回は単語の意味（検索すればわかりそうなものだったので終了後にネット検索した）や疑問を感じた後の少し先のスライドで説明されたり解決したりするような表層的なことしか思いつかず、まだ研修や発表の場での発言に苦手意識がある。自分の担当業務や部署の課題をしっかりと把握して発表内容との共通点や関連性を見出して自分の意見を持ち積極的に発言できるように心がけていきたい。

・今回の研修は、東日本大震災から10年が経ったこと、一方で、KURが約5年後には停止することも考慮された内容であり、「廃棄物の処理対応」や「放射線測定」などに特化した内容だった。汚染物や汚染水の処理は、KUR停止時の処置対応においてとても重要な作業項目になると予想されるので、このような要員が必要不可欠だと実感した。

・本研修で、改めて「汚染物や汚染水の処理」がどれだけ重要なことか、どういった方法で対応すればより安全に保守管理等を続けることができるのか、そういった知識を得ることができた。まさにこのような内容は、KUR 停止後の対応には必要不可欠な項目で、普段あまりこのような業務に携わらない私からするととても勉強になり、有意義な研修となった。

・特別講演をしてくださった先生方の内容は汚染水の減容や各地での放射線計測技術の開発と原発の事故により進んでいく研究についてであったが、これらのことは起こらなくてもいい原発事故からの研究や技術の発展と思うと自分たちが関わる KUR の安全への重要性に背筋が伸び、改めて失敗が許されない機器の保守管理をしていることを思い知らされました。

<まとめ>

今年度の研修会も新型コロナウイルス感染症の対策により、対面及びオンライン方式を併用した研修とした。両研修ともに、多くの所外の技術職員が参加して下さり、接続等のトラブルもなく無事に終えることができたことを嬉しく思う。第1回の研修では、特に技術発表(1)「負の遺産を整理する～長期未整理放置の RI 汚染物の廃棄について～」の発表の注目度が高く、議論も活発であった。所外参加者の所属施設においても、当所と同様に放射性廃棄物の廃棄に悩んでいるようであった。原子炉や放射線取扱施設に対して、昨今は厳しルールが定められている状況であり、トラブルがあれば社会的影響も大きいため、本研修を通じて情報共有を図り、安全に日々の業務を遂行して欲しいと願う。また、第2回目の研修では、現場作業で生きる内容とした。我々教室系技術職員は、危険と隣り合わせの業務もあるため、KY 活動についての理解を深め、より一層職場の安全化と活性化を推進してもらいたいと思う。

最後に、研修会を開催するにあたって、テーマの設定や準備等にご尽力頂いた世話人会メンバーに感謝申し上げます。

令和3年度 第5 専門技術群専門研修世話人会
張 俊、吉野 泰史、大野 和臣、藤原 靖幸、栗原 孝太