

添付3

FNCA2025 放射線安全・廃棄物管理プロジェクトワークショップ

セッションサマリー

セッション2：導入

1) FNCA プロジェクトの最近の展開（和田智明氏、FNCA 日本アドバイザー）

現在、FNCAでは4つの主要な研究分野において、8つのプロジェクト活動が活発に実施されている。25年にわたりFNCAはアジアの参加国間の緊密な協力を通じて、原子力及び放射線の応用分野の発展に大きく貢献し、顕著な成果を上げてきた。昨年開催された大臣級会合においては、フィリピンの放射線育種プロジェクトチームが「FNCA賞2024」の最優秀研究チーム賞を受賞した。

2) 原子力施設からの環境放射線及び放射能（小佐古敏荘氏、日本）

本プロジェクトの現行フェーズは「原子力関連施設からの環境放射線及び放射能」をテーマとして、次のポイントについて議論が行われる予定である：（1）放射線源（自然由来、人工由来）、（2）測定方法（外部被ばく、内部被ばく）、（3）環境中での移行（大気、地表、水）、（4）人体への影響（評価手法、参照レベル）、（5）国民の理解。

これらの項目に関する概要が提供される。

セッション3：カントリーレポート

1) オーストラリア

オーストラリアは、ANSTO（オーストラリア原子力科学技術機構）の廃棄物処理施設における液体の放射線測定について発表する。この発表では、何を分析対象とするかを決定する際の根拠、遵守すべき基準値の設定方法、さらに敷地内に流入するすべての廃水（雨水を含む）をどのように回収・測定しているかについて説明する。これらの計算は、世界保健機関（WHO）の放射線に関する飲料水ガイドラインに示されており、最終的にはANSTOの研究所で排水として流すことができる放射能の量として実際に適用されている。なお、ANSTOでは、これまでに敷地から排出された水の中で、規制値を超えた放射線測定結果が出たことは一度もない。

2) バングラデシュ

環境放射線及び放射能は、人の健康と環境に対する潜在的なリスクとなるため、放射線関連施設において重要な課題である。セシウム137（Cs-137）に汚染された土地の清掃や、大型コンテナからのCs-137汚染粉塵袋の分離作業は、綿密な計画、正確なモニタリング、厳格な安全対策を必要とする。これらの作業は正確な検出、安全な取り扱い、適切な廃棄物の分類、長期的な処分といった課題を含む。

さらに、船舶解体場や肥料産業等のような高リスク産業分野における自然起源放射性物質（NORM）のモニタリングは、より複雑である。これらの環境は無規制の物質移動、不十分な作業員の認識、ならびに日常的な放射線監視のための限定的なインフラにしばしば関係する。

一方、建設中のルプール原子力発電所から半径32km圏内における環境放射線モニタリングは、基準値の確立及び運転中・運転後の放射線影響の早期検出のために不可欠である。これらの課題に対応するには、安全な運用と効果的な環境保護を確保するために、規制の施行、技術的能力の強化、そして公共の安全意識の向上を含む包括的なアプローチが必要である。

3) 中国

本報告書は、中国における稼働中の原子力発電所における排出水の放出に焦点を当てている。中国は、線量限度、拘束値、総量管理及び濃度管理の4段階の管理体系を確立しており、その基準は国際基準と整合し、かつより厳格である。過去10年間のデータによれば、気体及び液体の放出量はいずれも限度を大幅に下回っており、周辺環境に異常は見られず、わずかにトリチウム濃度が上昇している程度である。公衆の被ばく線量は拘束値を大きく下回っており、モニタリング体制及び情報公開は厳格に行われている。

4) インドネシア

本報告書は、2024年に実施された環境放射線モニタリング及びCs-137で汚染された土壌の除染に関する関連研究活動の概要をまとめたものである。モニタリングは、連続的な測定及び定期的な採取の両方を含んで実施された。定期的に環境放射線測定が行われ、半年ごとに原子力規制庁（BAPETEN）へ報告された。結果は、著しい被ばく線量や大気中の汚染は示されなかった。すべての汚染及び線量率の指標は規制限度を大きく下回っており、セルポン（Serpong）地域の原子力施設における研究及び運用活動が安全かつ確実に実施されていることが確認された。すべての施設における放射線防護システムが効果的に機能しており、全関係者が運用手順を厳守していた。

汚染土壌のマッピング及び分別等を含む複数の段階からなる土壌除染活動は、合計150リットルの土壌が入った4つのドラムで行われた。マッピング結果では、Cs-137による汚染不均一に分布しており、細粒土壌に高濃度が、粗粒の土壌や砂利では低濃度がみられた。ガンマ線スペクトロメトリー測定により、汚染土壌の放射能濃度はクリアランスレベル（100 Bq/cm²）を超えていることが判明した。この基準値を超える土壌については、特に細粒土壌の汚染レベルの低減を目的として、土壌洗浄法によるさらなる処理が計画されている。

汚染土壌の処理を加速させるためには、土壌を分離する機械の開発が必要である。この装置により、粒子の大きさや汚染レベルに基づく土壌の効率的な分離が可能となり、除染作業の速度及び効果が大幅に向上する。これにより、大量の汚染土壌をより体系的かつ安全に管することが可能となる。

5) 日本

日本は、約70年にわたる原子力施設における環境放射線モニタリングの歴史を有している。本発表では、その歴史の中で重要な出来事を振り返り、不測の事象から得られた教訓について強調する。1999年の臨界事故以降、環境放射線量の観点から原子力災害対策を実施することに重点が置かれ

た。福島第一原子力発電所事故の経験は、日本における環境放射線モニタリングの改善へとつながっている。指定廃棄物中間貯蔵施設周辺におけるモニタリングは、日本で最近実施されている対策の一つである。

6) カザフスタン

国際社会が直面する主要課題の一つは、人間が原子力エネルギーを利用することにより発生した電離放射線源、放射性廃棄物、使用済核燃料の処理問題であった。またこの問題はカザフスタンにも関係がある。第1に、核実験場の跡地に大量に蓄積されていること、そしてウラン産業の企業や医療機関において放射性廃棄物が継続的に発生していることが理由である。第2に、カザフスタン領土内に5基の原子炉が存在し、これが使用済核燃料の主な発生源になっていることが理由である。カザフスタンには大量のNORM/TENORM放射性廃棄物が蓄積されており、その量は増加傾向にあり、処分を含めてその安全な管理を確実に行うことが必要とされている。NORM/TENORMは、ウラン採掘の廃棄物、石油・ガス生産、冶金産業により、ごみ、尾鉱、汚染土壌、配管、機器などの形で発生する。

カザフスタンにおける放射性廃棄物の処理、電離放射線源と使用済核燃料の管理を規制するため、法令、規則、その他の規範的法的行為の形の多くの文書が継続的に策定、改正されている。しかし、カザフスタンがこの分野で多くの経験を有しているという事実にもかかわらず、原子力エネルギー施設の規制上の法的枠組みやインフラには、近い将来強制的な解決策を必要とする課題がある。

特に、これまでにセミパラチンスク原子力安全地帯に関する法律が策定、承認されており、この法律では、旧セミパラチンスク実験場の事業者組織、区割りの主要基準、現状が定義されている。また放射性廃棄物に関する法律も策定中であり、この法律では、放射性廃棄物の管理に関する基本的な手順が定義される予定である。

放射性廃棄物管理における重要かつ深刻な課題の一つは、カザフスタンのBN-350原子炉の廃炉である。

7) マレーシア

環境モニタリングは、原子炉、鉱物処理施設、廃水処理施設、放射性廃棄物処分場など、特定の許可施設に対して規制上義務付けられているものである。環境放射線や放射能のモニタリングは、周辺環境における放射線レベルを評価し、予期せぬ放出や汚染を検出し、一般公衆及び環境への放射線被ばくが規制で定められた許容限度内に収まっていることを確保する上で、重要な役割を果たしている。

原子力法及びその関連規則には、許可取得の条件としてこうしたモニタリングを実施しなければならない特定の原子力施設及び活動が明示されている。

8) モンゴル

モンゴルにおける放射線安全の法的枠組み、放射性廃棄物管理の現状、及びこの分野における主要な課題について考察する。モンゴルは複数の国際条約や協定に加盟しており、国際的な義務に沿っ

た国家政策及び規制の策定・実施に向けた取り組みを進めている。国内法及び規制は改正され、NORMに対する規制監督の実施が可能となった。放射性廃棄物管理施設の改善と安全性の向上に加え、モンゴルは国際原子力機関（IAEA）及び他の加盟国と協力し、放射性廃棄物管理の実務を強化するた取り組みを行っている。

9) フィリピン

本報告では、フィリピンにおける放射性廃棄物管理及び環境放射線モニタリングに関する最新の活動を、特に法整備の進展に焦点を当てて論じられている。独立した規制機関の設立に関する法案が批准されており、これらの進展が環境モニタリング体制の強化につながることを期待されている。批准された法案には、放射性廃棄物管理事務局の新設に関する条項も含まれている。モニタリング結果の詳細な報告は、他のセッションにおいて発表される。

10) タイ

タイ原子力技術研究所（TINT）の運用に関連する環境放射線モニタリングは、タイの2024会計年度において、チャトゥチャク（Chatuchak）、クローン・ハー（Khlong Ha）、及び本部の3か所で実施された。モニタリング活動には、表面水、地下水、雨水、表層土壌、堆積物、エアロゾルの評価に加え、周辺線量当量率の測定が含まれていた。潜在的な放射能の主な発生源としては、研究用原子炉の運転、放射性同位元素の製造、放射性廃棄物の管理、放射線照射サービスなどが挙げられる。すべてのモニタリング結果は、国内及び国際的な安全基準に適合していることが確認された。水試料中の総アルファ線及び総ベータ線の放射能濃度は、国家環境委員会及び世界保健機関（WHO）が定める限度値を下回っていた。人工放射性核種（I-131、Cs-137、Co-60）は、いずれの試料からも検出されなかった。表層土壌及び堆積物中の天然放射性核種（Th-232、U-238、K-40）の放射能濃度は、予想される自然バックグラウンドレベルの範囲内であった。

TINTの各施設周辺地域における周辺線量当量率は、現地調査用線量計を用いて測定され、施設内での測定は24時間自動稼働の環境・施設放射線検出（EFRD）システムによって実施された。現地調査とEFRDの両方の結果により、線量当量率が一般公衆の年間被ばく限度である1 mSv/年を下回っていることが確認され、TINTの運用が公衆に対して放射線学的リスクをもたらしていないことが示された。

11) ベトナム

ベトナムは現在、国家原子力発電計画の再始動と、ウラン及びレアアースを戦略的国家産業へと位置付けると二重の戦略的方針を推進している。この野心的な新方針により、包括的な国家放射性廃棄物管理戦略の策定が、即時かつ重要な優先課題となっている。

主な課題は、将来的に原子力発電所から発生する使用済燃料の管理と、戦略鉱物の産業規模での採掘に伴って発生する大量のNORM廃棄物の管理である。

先行的な取り組みとして、ベトナムは放射性・希土類元素研究所（ITRRE）における主要な放射性廃棄物貯蔵施設の改修を成功裏に完了し、将来の課題に取り組む強い意志を示している。

長期的な目標の達成に向けて、ベトナムはFNCAを通じた国際協力の強化を求めている。特に、以下の3分野における支援を要請している：国家処分場の開発に関する専門知識、高度な人材育成（原子力発電分野）、及びウラン・レアアースの処理に伴うNORM廃棄物の産業規模での処理に関する技術移転である。

12) シンガポール

本発表では、シンガポールの空間放射線モニタリング能力の概要を示している。これらは、「空間放射線モニタリングネットワーク（ARMNet）」及び環境中の放射能の基準値を監視する「国立放射化学研究所（NRL）」によって支えられている。

ARMNetは、2020年に導入され、国内各地に戦略的に配置された40か所の固定監視ステーションと5つの迅速展開ユニットから構成されており、大気中の放射能を継続的に監視する体制を整えている。2018年4月に運用を開始したNRLは、シンガポールのベースラインとなる放射線レベルを確立し、環境中の放射性汚染物質の存在を検出することを目的としている。

セッション4：環境放射線及び放射能に関する発表

1) フィリピン原子力研究所の放射性廃棄物管理施設における環境放射線 (Eng. Ronald Piquero、フィリピン)

本発表では、フィリピン原子力研究所（PNRI）の放射性廃棄物管理施設（RWMF）において実施された環境放射線モニタリングの結果を示している。主なモニタリング活動には、周辺ガンマ線放射線量、浮遊粒子の採取、ガンマ線スペクトロメトリー、及びラドン・トロンの測定が含まれる。

測定結果によれば、周辺線量率は0.12～0.21 $\mu\text{Sv/h}$ 、大気中の放射能濃度は0.018～0.022 Bq/Lの範囲であり、いずれもIAEAのスクリーニング基準値を大きく下回っていた。これらの結果は、放射線管理が適切に実施されており、安全基準に適合していることを示している。

今後の取り組みとしては、土壌及び水へのモニタリング拡大、機器の高度化、関係機関との連携強化が計画されている。

2) バングラデシュ原子力委員会の中央放射性廃棄物処理貯蔵施設における環境放射線及び放射線防護 (Dr. Khandoker Asaduzzaman、バングラデシュ)

バングラデシュ原子力委員会（BAEC）の中央放射性廃棄物処理貯蔵施設（CWPSF）は、国内の医療、産業、研究活動から発生する放射性廃棄物の管理において重要な役割を担っている。環境及び作業環境の安全を確保するため、当施設では包括的な放射線防護及び環境モニタリングプログラムが実施されている。

このプログラムには、周辺ガンマ線量率、表面汚染、土壌・水・大気といった環境媒体中の放射能レベルの定期的なモニタリングが含まれている。また、被ばくを制限するための区域設定及び立入管理が行われており、汚染拡散防止のための各種防護対策も講じられている。放射線レベルが規制

基準内に維持されていることを確認するため、定期的な評価が実施されており、作業員・一般公衆・環境へのリスクを最小限に抑えている。

収集されたデータは、規制順守の裏付けとなるとともに、安全プロトコルの継続的な改善につながる。これらの体系的な取り組みを通じて、CWPSFは放射線安全及び環境保護に関する国内外の基準を遵守している。

3) 日本の原子力施設に関連する環境放射線モニタリングプログラム (大倉毅史氏、日本)

原子力施設における環境放射線モニタリングは、原子力施設から環境中に放出される放射性廃棄物による周辺住民に対する影響を監視・評価することを主な目的として実施されている。平常時の環境放射線モニタリングを実施するにあたっては、あらかじめ原子力施設が周辺環境に及ぼす影響を評価し、その結果を踏まえて計画が策定される。その計画に従って様々なモニタリング項目が測定され、その結果をもとに周辺住民への潜在的な影響を評価する。

平常時モニタリングの主目的は地域住民の安全確保であるため、立地自治体と原子力事業者の協力のもとで実施される。立地自治体と各事業者の連携によって共同モニタリングが行われることで、複数施設による累積的な影響の評価が可能となり、周辺住民が受ける年間線量が公衆の線量限度である1 mSv/年以内に収まっていることを確保できる。

4) ナコーンナーヨックの放射性廃棄物施設での環境放射線 (Dr. Klitsadee Yubonmhat, タイ)

原子力エネルギーの利用者であり、放射性廃棄物の管理事業者でもあるタイ原子力技術研究所 (TINT) は、ナコーンナーヨック県において、焼却炉及び使用済密封放射性線源 (DSRS) 貯蔵建屋の2施設を運用している。

焼却炉は、かつて固体廃棄物及び有機系液体廃棄物の処理に使用されていたが、現在は稼働しておらず、廃止措置が検討されている。焼却炉内のタンクには液体廃棄物が残存しているものの、同施設における放射線量率は自然のバックグラウンドレベルにある。

DSRS貯蔵建屋には、カテゴリ3、4、及び5に分類されるDSRSを取り扱うための移動式ツールキットが備えられており、同時にDSRSの貯蔵施設としても機能している。当該建屋の外部壁面接触点すべてにおいて、放射線量率はバックグラウンドレベルにある。

また、表面水、雨水、表層土壌、堆積物、浮遊粉じんに対して実施された環境放射線モニタリングの結果、周辺環境における放射線レベルはすべて安全基準を満たしていることが確認されている。

セッション7：ポスターセッション

1) 中国

本ポスターは、セメント固化廃棄体の鉱物組成について、放射性廃棄物の処分過程における環境中の陰イオンが及ぼす影響を解析したものである。ギブズ自由エネルギーの最小化の原理に基づき、異なる濃度の陰イオン存在下におけるセメント固化廃棄体内の各鉱物組成の含有量変化を熱力学的に計算し、陰イオン濃度の変化に伴うセメント固化廃棄体の進化過程を解析した。

計算結果によれば、硫酸イオン (SO_4^{2-}) 及び塩化物イオン (Cl^-) は、セメント固化廃棄体の鉱物組成に対して比較的大きな影響を及ぼし、セメント固化廃棄体の完全な劣化及び放射性核種に対する遅延効果の喪失を引き起こす可能性がある。一方、硝酸イオン (NO_3^-) の影響は比較的小さく、 NO_3^- とセメント固化廃棄体の鉱物組成との反応の後には、安定な平衡状態に到達することが示された。

本研究の結果は、処分環境中の陰イオンによって引き起こされるセメント固化廃棄体の劣化の進化法則及びそのメカニズムを明らかにするものであり、セメント固化廃棄体の処分に関する安全評価に対してデータの裏付けを提供するものである。

2) 日本

① 「エネルギー、安全、環境に関する統合コンサルティング：JANUS のアジアにおける原子力災害対策と廃棄物管理への貢献」(嶋田和真氏、JANUS)

JANUS はエネルギー、安全・防災、環境という 3 つの領域において、統合的なコンサルティングサービスをアジア地域で提供している。本ポスターでは、①原子力災害時における実効線量や甲状腺等価線量などの被ばく線量をリアルタイムで予測する防災システム、②国内外の放射性廃棄物処分及び廃炉プロジェクトにおける安全評価とマネジメント支援、③持続可能な循環型社会や廃棄物問題に対する支援を含むアジアでの環境関連事業を紹介する。これらを通じて、JANUS は地域の環境・安全・エネルギー分野における課題解決と、持続可能な社会の実現に貢献していく。

② 日本における海洋モニタリング (新田済氏、日本分析センター)

2023 年 8 月より、ALPS 処理水の海洋放出が開始されている。日本では、ALPS 処理水海洋放出以前より海域モニタリングを実施しており、その結果は関係省庁、地方自治体や事業者の web サイトで公開されている。日本のモニタリングに関する信頼性や透明性を確保するため、IAEA の枠組みの下での分析機関間比較等を継続して実施しており、この取り組みをまとめた IAEA 報告書において、日本の分析機関が高い分析能力を有していると述べられている。

3) マレーシア

汚染された酸化亜鉛 (ZnO) の生成は、鉄鋼製錬作業からのフライアッシュ処理に起因しており、このフライアッシュは、知らないうちに放射性物質で汚染されていた。調査の結果、セシウム 137 (Cs-137) 汚染の原因は、ミリキュリー (mCi) 級の Cs-137 を含む使用済密封放射性線源 (DSRS) が誤って金属スクラップとして廃棄されたことにあると推定された。

本件は、原子力許認可法の枠組み外で操業していた無認可の産業界が関与しており、国の放射性廃棄物管理システムに対して重大な課題を提起している。特に、法的責任の所在の明確化及び、及び多大な財政的資源を要する中間・長期的な廃棄物管理施設の整備において、大きな困難を伴っている。

4) モンゴル

2025年1月17日、モンゴルはズーヴチ・オボー（Zuuvch-Ovoo）及びドゥラーン・ウール（Dulaan Uul）のウラン鉱床の開発に関する投資協定に署名した。生産は2028年から、原位置抽出法（in-situ leaching）によって開始される予定である。環境放射線モニタリングは、土壌、水、大気を対象として定期的に行われている。

NORMに関する国家規制はすでに承認されており、段階的に監視体制が導入されつつある。新たな放射性廃棄物管理施設も現在建設中である。これらの取り組みは、安全性の向上及び国際的なベストプラクティスとの整合性確保を目的としている。

5) フィリピン

① PNRI 放射性廃棄物管理施設及びフィリピン研究用原子炉 PRR-1 (SATER) におけるラドンモニタリングの基準値 (Mr. Angelo A. Panlaqui, PNRI)

本研究では、PNRIの放射性廃棄物管理施設（RWMF）及び研究用原子炉 PRR-1 SATER において、パッシブ型検出器を用いて3か月間のラドン濃度の基準値測定を実施した。その結果、RWMFにおけるラドン濃度は平均 435 Bq/m^3 であり、安全限度である 300 Bq/m^3 を超過していた。特にある貯蔵エリアでは最大 903 Bq/m^3 を記録した。一方、RR-1 SATER ではラドン濃度は非常に低く、平均で 61 Bq/m^3 であった。これらの結果は、ラドンを定常的な環境モニタリング項目に含める必要性を示唆しており、放射線防護の強化に向けて、換気の改善及び内部被ばく線量の評価を実施することが推奨される。

② フィリピンにおけるウランの地球化学図 (ver. 3) (Ms. Americus Perez, PNRI)

当時のフィリピン原子力委員会（Philippine Atomic Energy Commission）の主導のもと、各州において大規模なウラン探鉱データセットが作成された。現在、放射能探査データ、河川堆積物、重鉱物、河川水中のウラン濃度データを統合する試みが進行中である。

本稿では、PNRI-NMRS（核鉱物資源課）による「フィリピンにおけるウラン地球化学図」の公表について述べる。現在のデータベースには、2,109件の河川堆積物試料、1,053件の重鉱物試料、特定地域からの111件の河川水試料、ならびに1,007件の地上及び車載式放射線測定値が含まれている。

この河川流域の地球化学データベースは、既存文献及び GEOROC（Geochemistry of Rocks of the Oceans and Continents）からの岩石地球化学データベースと統合されている。地球化学データの空間分布は、探索的データ解析（EDA）に基づく分類を用いた地球化学マップとして可視化されている。河川及び岩石の地球化学データを組み合わせることで、フィリピンの地質環境における一次及び二次的な、熱水流体の関与によるウラン濃集の特徴付けが可能となっている。今回同定された、鉄（Fe）及び／または銅（Cu）鉱化作用と関連する地球化学的異常は、新たなウラン探鉱の有望なターゲットとなり得るものである。

6) タイ

製鋼工程中に偶発的に生成された、セシウム 137（Cs-137：ガンマ線を放出する放射性核種）で汚染された電気アーク炉ダスト（EAFD）は、放射性廃棄物（Radwaste）として分類され得る。こうした廃棄物の処理方法として、セメント固化が有望な手法とされている。

本研究では、28日間硬化させたセメント固化 EAFD 試料に対して、標準浸出試験（ANSI/ANS-16.1）を用いて Cs-137 の放出挙動を評価した。得られた Cs-137 浸出データに対して、4つのプロセス（緩く結合した放射性核種の放出、表面洗浄、拡散、溶解）に基づく 15 種類の異なる浸出モデルを適用し、Cs-137 浸出を支配する浸出メカニズムを特定した。

その結果、すべての試料における Cs-137 の浸出は、緩く結合した Cs-137 の放出、表面洗浄、及び拡散によって引き起こされていることが明らかとなった。これらの中で、拡散の寄与は他のプロセスに比べて顕著に小さいことが示された。また、各プロセスの寄与割合は、試料の調製に用いたセメント固化処方によって異なっていた。