

原子炉屋の核物質管理



松浦名誉理事長

私には INMMJ への入会手続きをした記憶がありません。1969 年に 1 年間米国ワシントン州のハンフォード研究所へ、軽水炉でのプルトニウム利用可能性の実験研究のため留学を命じられました。この間に米国で INMM の活動を知り、米国の友人にも勧められ INMM メンバーになったと記憶します。その後、日本にも「核燃料管理学会」が設立され、それが INMM の日本ブランチとなった時に、規定に従い INMMJ メンバーになったからです。

話が前後しますが、私は 1961 年 1 月元日付けで日本原子力研究所に研究員として採用され、動力試験炉 (JPDR) 建設部第 4 課 4 係に配属されました。原子炉はゼネラルエレクトリック社が開発し、米国で電力会社がそれを導入し商用発電を始めたばかりの、熱出力 45MW、電気出力 12.5MW の自然循環沸騰水型発電炉 (BWR) でした。当時は「東海村は砂ばかり、松の間に柱を立てて、そこで何をするのかは、若いおいらに聞いてくれ」このような原研職員作詞作曲の歌が元氣よく歌われる雰囲気でした。当部第 4 課 1, 2, 3 係の担当範囲は、原子炉圧力容器の内部一式、即ち原子炉炉心を含む内部構造全てです。核燃料 (濃縮度 2.6%、二酸化ウラン焼結体) は最高に重要な部分です。そして私が配属された 4 係は、まるで添え物のような任務でした。「4 係」の主要業務は第一が「JPDR に隣接して建設予定の原子炉物理実験研究用の「超小型ゼロ出力炉 (臨界実験装置)」の建設・運用と、それによる軽水型動力炉に関する基礎的及び開発的研究」、第二が「JPDR に関する炉物理事項の試験・研究への支援」でした。陰では「グリコのオマケ」とも言われましたが、よく役立つオマケでした。当時は、研究用炉についても発電用動力炉についても改良型が次々出現する時代でした。従って、原子炉自体の特性をより精密に確認する仕事 (原子炉物理の研究) が重要な研究・開発分野でした。そこで、原研では動力炉の建設と同時に、軽水炉 (沸騰水型及び加圧水型) の基礎的・開発的炉物理研究のための実験装置として、GE が BWR を開発するための実験に開発した「軽水型臨界実験装置 (TCA)」を JPDR とセットで発注しました。GE の営業として TCA は、実際のところ JPDR 受注成功のオマケであったかも知れません。しかし、4 係で働く人間は JPDR 業務にしろ、TCA 業務にしろ、燃料管理は記録上にせよ、実際の作業にせよ、日常不可欠、不可避の仕事でした。INMMJ 会員になるのは全く当たり前のことでした。そして、核拡散防止の重要性やそのための技術開発の重要性は十分に理解しながら、そしてまたそれに関する実験的研究や技術開発も進めながら、INMMJ の学会活動については、会費を払いながら殆ど寄与を出来なかったというのは全く不思議で、かつ申し訳無いことでした。学会活動が原子力学会に偏り過ぎていたこと、また他方、規制関係では、原子力安全委員会に集中しすぎていたためかもしれません。INMMJ 活動とは言えないでしょうが、核物質管理及び核拡散防止に関連する研究や会合に携わった記憶を呼び起こしてお詫び代わりにさせていただきます。最も深く関わったのは、1977 年 11 月から約 2 年に及んだ IAEA の国際会議「核燃料サイクル国際評価 (INFCE)」でした。これは当時のカーター米国大統領の「将来の核拡散防止を確実にするため、高速炉開発・核燃料再処理の活動を世界的に中止しよう」との提議で開始されました。この会議の理念構築、会議方向付けに大活躍をされたのは、つい先日逝去された、当時ハーバード大学教授ジョセフ・ナイ博士でした。カーター大統領の希望は、「日独仏英」の反対連合により破られましたが、原爆保有国以外で高速炉・再処理が認められたのは日独のみとされ、また高濃縮ウラン燃料、プルトニウム燃料使用には強い制限が設定されました。これで世界の研究炉燃料濃縮度は特別なケース以外は全てウラン濃縮度 20% 以下になりました。私は科技厅参与を任命され会議第 8 グループの日本代表を務めました。この時は国際会議における自国利益防御の厳しさ、過酷さを徹底的に認識させられました。しかし、その後の原子力エネルギー利用の動向変化と現状を振り返りますと、非常に皮肉な感慨を覚えます。

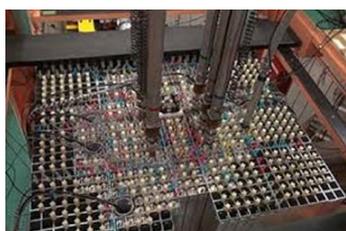
TCA の仕事で愉快を覚えたのは、JPDR の使用済燃料のガンマー線非破壊測定結果を少数燃料ピン化学分析結果で校正によりプルトニウム生成量の測定可能性を確認し、この手法を東海再処理工場第 1 回再処理キャンペーンの JPDR の初装荷全使用済燃料に適用し、非破壊測定校正値のプルトニウム量と再処理生成プルトニウム量の一致を得たことでした。

このケースは唯一の試験的確認実験にすぎません。より実験を精緻化し、またガンマー線測定に選ぶガンマー線核種の選択を精緻化する事で相当に精度向上が図れると考えます。炉物理屋の余技のような測定の可能性をより研ぎ澄ませば、全ての使用済燃料の生成プルトニウム量の評価精度を、再処理前にかなりな精度で評価が可能になるのでは無いかと期待できます。

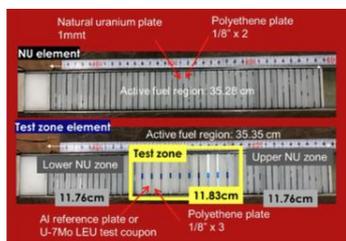
(原子力安全研究協会 松浦 祥次郎 名誉理事長)

お断り: 紙面構成の都合上、今号では目次を 4p に掲載しました。

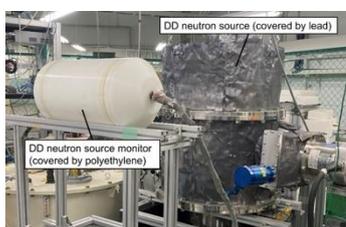
研究室紹介（京都大学宇根崎研究室）



KUCA 炉心 (B 架台)



HALEU を使った未臨界実験



DD 中性子源



HALEU 核物質検知実験体系

京都大学複合原子力科学研究所（以下「複合研」）原子力基礎工学研究部門の核物質管理研究室と、京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー社会・環境専攻のエネルギー政策学研究室を兼ねている当研究室は、原子力エネルギーと核燃料物質管理に関連したテーマのみならず、エネルギーセキュリティ評価を含めたエネルギー政策全般に係る学際的な研究に取り組んでいます。学部がなく、大学院からの研究室のため、一般の大学の研究室に比べると小規模な研究室ではありますが、京都大学のみならず全国からエネルギー科学を志す大学院生たちが集ってくれています。院生諸君の学術的なバックグラウンドと興味に合わせて幅広い研究テーマを扱っているところ、本稿では、核物質管理に関連したアクティビティに限定して研究室をご紹介しますことといたします。

教授の宇根崎博信は原子炉物理学・原子力工学を、助教の高橋佳之は放射線計測をバックグラウンドとした研究者であり、かつ、複合研では管理業務として安全・核セキュリティ・保障措置を統括する核燃料管理室の中核メンバーとして活動しています。このように日頃から研究と安全管理の二足の草鞋を履いていることから、自身の専門知識と核物質管理の実務を融合した研究の展開を志しており、この目標を達成するために、KUCA（京都大学臨界集合体実験装置）をはじめとする複合研が保有するさまざまな実験設備と実験に供される核燃料物質を組み合わせた多様な研究に取り組んでいます。

KUCA は最大出力 100W の臨界集合体で、炉心燃料の構成をさまざまに変化させることができる、世界でも類を見ないフレキシビリティを誇る施設であり、原子力工学・放射線計測に関する基礎／応用のためのさまざまな実験に供されています。核物質管理に関連する KUCA を用いたこれまでの研究としては、トリウム利用炉の核特性測定実験、アクチノイド核種の反応率測定実験などの炉物理・核データ面からのものが主体でした。現在、KUCA は高濃縮ウラン燃料から濃縮度 20% 程度の低濃縮ウラン燃料への転換を進めているところで、当研究室はこのプロジェクトの準備段階から研究・管理実務の両面から深く関わってきました。KUCA に導入される低濃縮ウランは、革新型原子炉システムの燃料として世界的に注目されている High-Assay Low Enriched Uranium (HALEU) に分類されるもので、KUCA の低濃縮化が達成された暁には、KUCA は HALEU を用いた系統的な炉物理・炉工学実験ができる世界で唯一の施設となることが期待されています。

KUCA 低濃縮化においては、ウランモリブデン合金燃料(U-7Mo)燃料の製造に係る技術開発が必要であったことから、当研究室は仏米と協力してこの技術開発に関与し、その成果

として、KUCA 向け HALEU 燃料の試験体を開発することに成功いたしました。この HALEU 燃料試験体は、現在進行中の KUCA の低濃縮化に先駆けて 2022 年に複合研に納入され、未臨界実験や核物質検知実験に供されています。なかでも DD 中性子源と HALEU を用いた核物質検知システムの開発研究では、中性子雑音解析手法である Rossi- α 法と中性子同時計数法の同時適用により臨界監視と核物質検知を同時に実現するとともに、Rossi- α 法を応用した新規の核物質計量手法の妥当性を確認できており、実スケールの量の HALEU を用いた実験としては世界的にも先駆的なものではないかと考えています。KUCA の低濃縮化という国際的な核不拡散政策に基づく燃料製造技術の取り組みが、このような興味深い実験の実現に結びつくとは当初は思ってもいなかったことで、核物質管理という世界の面白さ、奥深さを感じさせてくれた事例です。

当研究室としては、これからの革新型原子炉システムの研究開発に資するとともに、革新型原子力システムの社会実装のための基盤技術としての核セキュリティ／保障措置関連研究に大いに注目しています。その中でも、HALEU を用いた革新型原子力システムの 3S(Safety, Security, Safeguards)を包括的に強化することにより、革新型原子力システムの社会実装を円滑に進めることができると考えています。このため、今後は、KUCA を用いた HALEU 臨界実験を通じた評価済み核断面積ライブラリの積分評価という原子炉物理／核データの基礎研究から、HALEU 向け輸送容器や貯蔵容器を模擬した未臨界体系での実験を通じた臨界安全研究、さらには HALEU を用いた核物質検知・計量実験を通じた核物質検知・計量管理技術の高度化に取り組んで行こうと考えています。加えて、HALEU を用いた革新型原子炉システムの導入がエネルギーセキュリティに与える影響を定量的に評価することにより、エネルギー政策の観点からも革新型原子炉システムの重要性、位置付けを明らかにするなど、文理融合・学際的な展開を目指そうと考えています。

今回ご紹介したこれらの実験研究で用いた複合研の様々な施設は、共同利用・共同研究施設として全国の研究者の皆さんに広く門戸を開いています。HALEU を用いた実験研究でこれからも様々なアイデアを出して、世界をリードするためには専門の垣根を超えた異分野交流も重要と考えています。ご興味のある方はぜひとも一緒に研究に取り組みましょう！

(宇根崎研究室)

職場紹介（東京電力 HD 株式会社：核セキュリティの最前線）

東京電力ホールディングス株式会社は、原子力の平和利用を安全かつ責任ある形で支えるため、核セキュリティの強化に不断の努力を重ねています。とりわけ、柏崎刈羽原子力発電所（新潟県）では、核物質の防護と施設防御のため、世界的な基準に基づく高度な対策が日々実践されています。

2021年に明らかとなった一連の核セキュリティに関する課題を受け、当社は抜本的な改革を実施しました。その中で注目すべきは、不要警報の削減と、立入制限区域のセットバックを含む物理的防護体制の見直しです。これらの取り組みは、核セキュリティ文化の強化というソフト面と、システム信頼性向上というハード面の両立を象徴するものです。

■ 不要警報の削減：信頼性と対応力の両立

核セキュリティシステムにおいては、センサーや監視装置からの「警報」は、侵入者の検知や異常への即応に直結する極めて重要な要素です。しかし、誤作動や侵入以外での要素での作動による不要警報（false alarm）が頻発すると、対応部隊の判断力を鈍らせ、真の脅威に対する反応遅延を招くリスクが高まります。

柏崎刈羽原子力発電所では、2022年以降、過去の警報ログを精査し、気象条件や機器老朽化に伴う誤作動要因を分析しました。その結果に基づき、センサーの取替や感度設定の最適化、遮蔽装置の設置など、包括的な改善策を講じました。これにより、2024年時点での不要警報発生率はピーク時の1/10以下にまで低減しています。

この改善により、現場職員の対応負荷が軽減されるとともに、実警報への即応力が高まり、結果として核セキュリティ全体の信頼性が大幅に向上しました。

■ セットバックの導入：立体的・多層的な防御へ

もう一つの重要な対策が、立入制限区域のセットバック導入です。セットバックとは、核物質貯蔵や重要施設から一定距離を設け、侵入者が接近するまでに時間と空間的障害を加える防御手法であり、IAEAなどが推奨する多層防護（defense-in-depth）の基本思想に基づいています。

柏崎刈羽では、立入制限区域の外周フェンスから重要な区域までの距離を再設計し、物理的障害物（例：車両阻止装置、柵など）と警備要員による動的監視を組み合わせた立体的防護構造を整備しています。加えて、赤外線カメラ等による広域可視化も導入され、視覚的死角の排除も図っています。

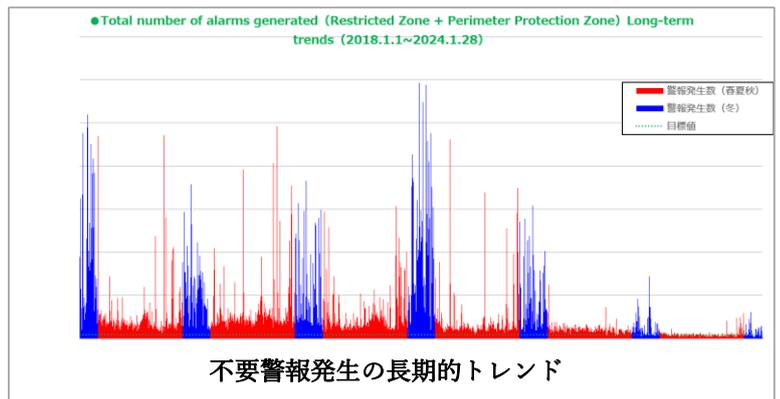
このセットバック導入により、仮に不審者が侵入した場合でも、施設中心部への到達までに十分な阻止・排除時間が確保され、核物質の逸失リスクが最小限に抑えられる体制を整えています。

■ 若手に開かれた「実践」のフィールド

これらの取り組みは、外部委託に頼るのではなく、社内の核セキュリティ管理グループが主体となって構想・設計・評価を繰り返してきた成果です。実際、当社では20代・30代の若手社員が、核物質防護の企画立案、システム改修、実証実験、海外機関との意見交換などに積極的に参加しており、若いうちから実践経験を積める職場環境を整えています。また、IAEAやWINS（World Institute for Nuclear Security）と連携したトレーニングプログラムや、社内セキュリティ演習を通じて、国際水準の知識・技能を実地で体得できる機会を数多く提供しています。

■ 核セキュリティの未来を共に創りませんか？

核セキュリティは、物理学、工学、情報科学、国際関係学、法学など、様々な学問分野が融合する非常に奥深く、そしてやりがいのある分野です。皆様がこれまで学んできた専門知識は、この分野で大いに役立つはず。東京電力は、未来の核セキュリティを担う若い力を求めています。私たちの仕事は、日本のエネルギー供給を支え、ひいては世界の平和に貢献するという非常に崇高な使命を帯びています。この大きな挑戦に意欲を燃やし、共に社会に貢献したいと願う皆様からの応募を心よりお待ちしております。核セキュリティの最前線で、あなたの能力と情熱を存分に発揮してみませんか？



セットバック説明を聞く長崎委員（出典：原子力規制委員会 HP）



新任の両委員長の挨拶



この度、企画委員長に任命されました日本原燃(株)核物質管理部の中村でございます。おかげさまで、日本核物質管理学会の全ての委員を経験することができました。自身の長年の核セキュリティ及び保障措置経験を通じて、会員の皆様のお役に立てるよう、核物質管理分野における課題や話題を中心に実効性のある企画を提供していく所存でございます。

特に、ドローン技術の高度化やAIの発展等、利便性とは裏腹に、世界的に、核セキュリティに対する脅威が年々厳しくなっていく中、核セキュリティ対策をどう実現するかは、極めて重要な検討課題と認識しています。会員皆様の知見や経験を結集してまいりたいと思いますので、何卒、よろしくお願い申し上げます。

(日本原燃株式会社 中村 仁宣)



本年4月より年次大会プログラム委員長を拝命した日本原子力研究開発機構の長谷と申します。2015年より委員として、元委員長である中村氏(現企画委員長)、相樂氏(現副会長)、山口氏(現理事)を支え、年次大会プログラム策定、論文審査などに微力ながら貢献してまいりました。この経験を活かし、より魅力的な年次大会の開催・当学会の活動の活性化に尽力したいと考えております。今年度のプログラム委員会は、「企画委員会との連携強化によるより魅力的なプログラム策定」及び「会員の専門性を活用したより合理的な論文査読の仕組みの確立」を目標として活動する所存です。皆様からのご指導ご鞭撻のほどよろしくお願い致します。

(日本原子力開発機構 長谷 竹晃)

会員コーナー



JAEA 原子力人材育成・核不拡散・核セキュリティ総合支援センターの関根恵です。職場の制度を活用して、主人の欧州原子核研究所(CERN)留学に同行しながらフランスにてフルリモートワークをしています。休職せず働き続けられることは非常にありがたいことだと思います。

私の主な業務は、国内外向けの保障措置・核セキュリティに係る人材育成支援です。具体的には、ニーズに基づいて、IAEA や米国等と協力してトレーニングコースやツールの開発等を行っています。自身の業務を通じて国際貢献でき、とてもやりがいがある仕事だと感じています。

(日本原子力開発機構 関根 恵)



初めまして。京都大学宇根崎研究室博士1回の嵯峨と申します。現在、3Sの包括的向上を目指したシステムの開発を実験・シミュレーションを通して行っています。京都大学複合原子力科学研究所ではHALEUを始めとした核燃料を用いて実験を行うことができることから、私は普段この研究所にて研究をしています。今後、研究所としてHALEUを受け入れる予定であるため、この新たな核燃料を用いた様々な実験を行う予定です。自分の研究や学会活動を通して、少しでも本学会に貢献できればと思っています。今後ともよろしくお願い致します。

(京都大学 嵯峨 稔己)

目次

原子炉屋の核物質管理	1
研究室紹介(京都大学宇根崎研究室)	2
職場紹介(東京電力HD株式会社:核セキュリティの最前線)	3
新任の両委員長の挨拶	4
会員コーナー、目次、編集後記	4

本資料は、日本核物質管理学会の活動を幅広く発信し相互コミュニケーションの場を提供する広報誌です。右のQRコードにアクセスしてアンケートにご協力して頂きますようお願い申し上げます



編集後記

冒頭でINMMJ発足当時の会員である原安協松浦名誉理事長のメッセージを取り上げました。原子力安全委員会委員長他の要職を歴任された同氏が、今秋にINMMJを退会されることから、後に続く私たちへのメッセージとして寄稿をお願いしました。国際的にも厳しい核セキュリティ情勢が続く中、当学会としての役割を果たし、学会への期待に応えていく上での示唆・助言になることを期待します。(広報委員長 後藤 晃)

編集・発行：日本核物質管理学会

〒100-0011 東京都千代田区内幸町2丁目2-3

日比谷国際ビル2階220号室

TEL:03-6371-5830, 5835

E-Mail:jimukyoku@inmmj.org <http://www.inmmj.org/>