

令和5年度成果と令和6年度取組のハイライト

③技術開発

2024年3月26日



国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
核不拡散・核セキュリティ総合支援センター（ISCN）

令和5年度第2回核不拡散科学技術フォーラム

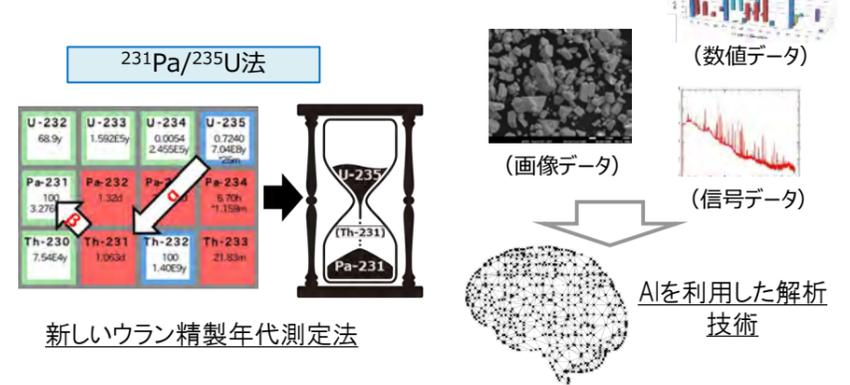
主な技術開発

核セキュリティ技術開発

核鑑識技術開発

核物質の不法取引等の現場から警察当局に押収された核物質や、核・放射線テロの発生現場で採取された核物質・汚染試料について、精密な測定により、試料に含まれるウラン・プルトニウム等の同位体比の違いや精製年代を同定し、犯罪行為に使用された当該物質の由来の特定を可能とする技術開発を日米欧の協力の下実施する。

【核鑑識技術例】



核セキュリティ事象における核物質魅力度評価に係る研究

核燃料サイクル施設に対する核セキュリティ上の3つの脅威である、核爆発装置（NED）を目的とした盗取、放射性物質の飛散装置（RDD）を目的とした盗取、妨害破壊行為（sabotage）について、核燃料サイクル施設に存在する核・放射性物質及びそのプロセスの魅力度も評価する手法開発等を日米の協力の下で実施する。また、評価手法の開発に加えて、魅力度を削減する概念と技術を開発する。脆弱性対策や核物質防護措置の適正化への応用に期待できる。



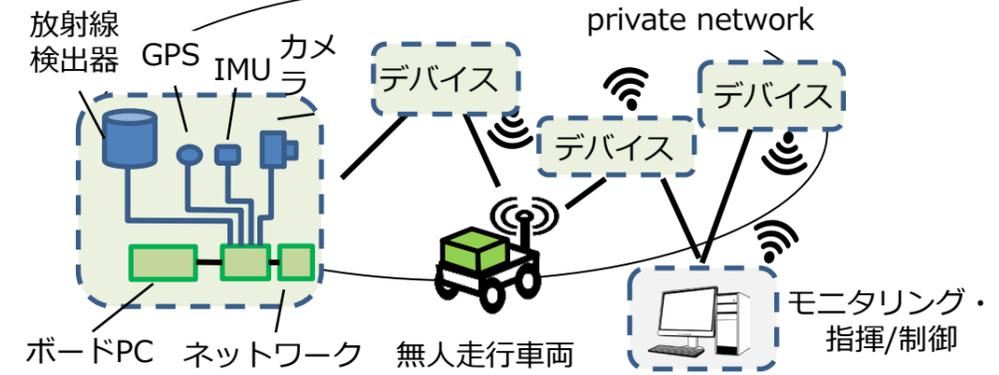
注：②～④が対象



核燃料サイクル施設を対象とした包括的評価手法の開発

広域かつ迅速な核・放射性物質検知技術開発

大規模イベントや大型商業施設等における核物質や放射性物質を使用したテロ行為の未然防止のため、広範囲での迅速な核物質、放射性物質の検知能力を高める必要がある。本研究では、放射線量と位置情報を同時に測定する可搬型装置をネットワークを利用して連携させ、広範囲の放射線量を随時モニタリングする技術を開発する。

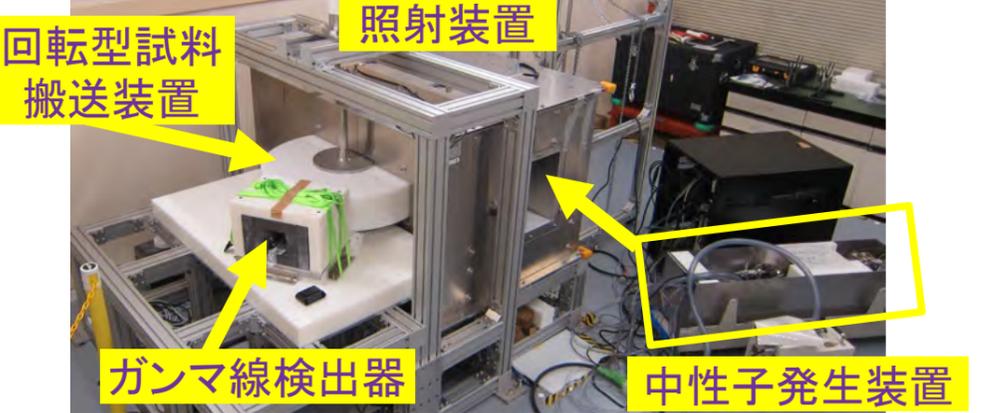


広範囲かつ省電力なネットワーク規格や無人機を用いた自動化を利用して、多様な場面で利用可能な技術を開発する。

核不拡散技術開発

実装型遅発ガンマ線分析非破壊測定システム開発

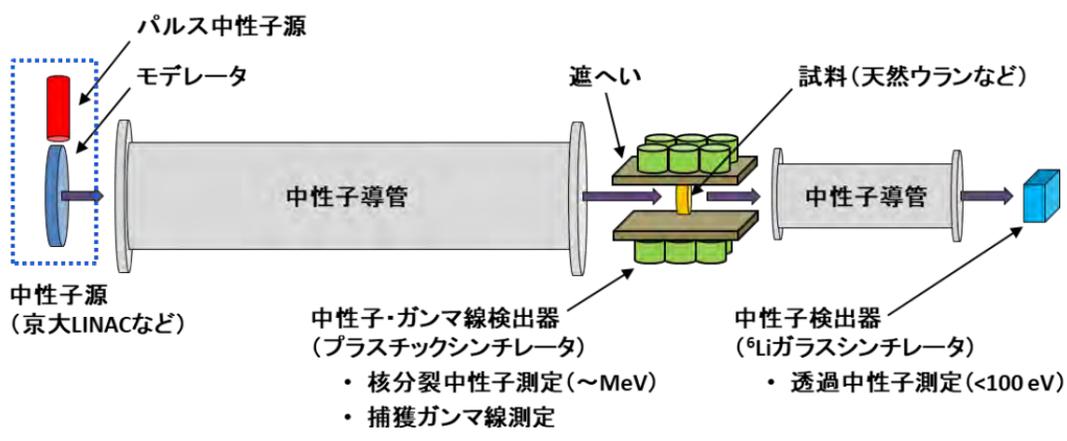
使用済み核燃料溶解液など、高線量核物質含有物中の核分裂性核種比を測定するための非破壊（NDA）測定システムをシミュレーションをベースとして開発する。核燃料物質を用いた実験によりシミュレーションの妥当性検証を日欧協力で行う。今フェーズでは実装型として小型化等を目指した開発を行う



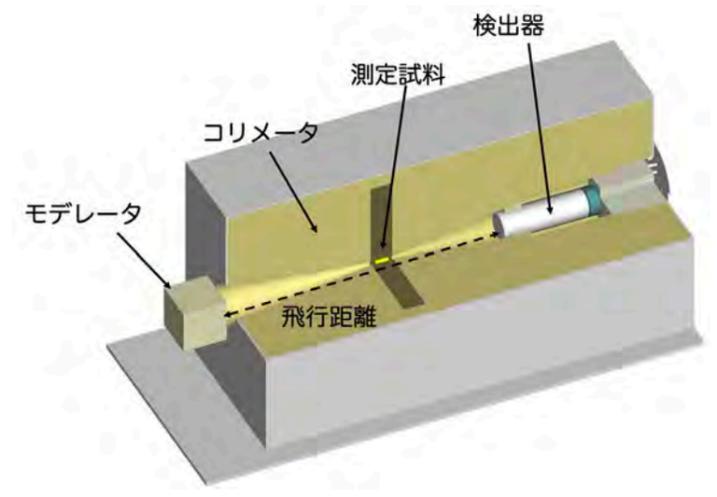
開発中の実装型遅発ガンマ線分析非破壊測定システム

中性子共鳴非破壊分析技術の開発

これまで培ってきたアクティブ中性子非破壊測定技術を基に、中性子共鳴核分裂中性子分析（NRFNA）技術を新たに提案、開発し、試料中に少量含まれる核分裂性物質の分析能力向上を目指す。また、小型で設置および取り扱いが容易な装置を目指し、Cf線源を用いた卓上型NRTA装置の開発を行う。



中性子共鳴分析装置（イメージ図）

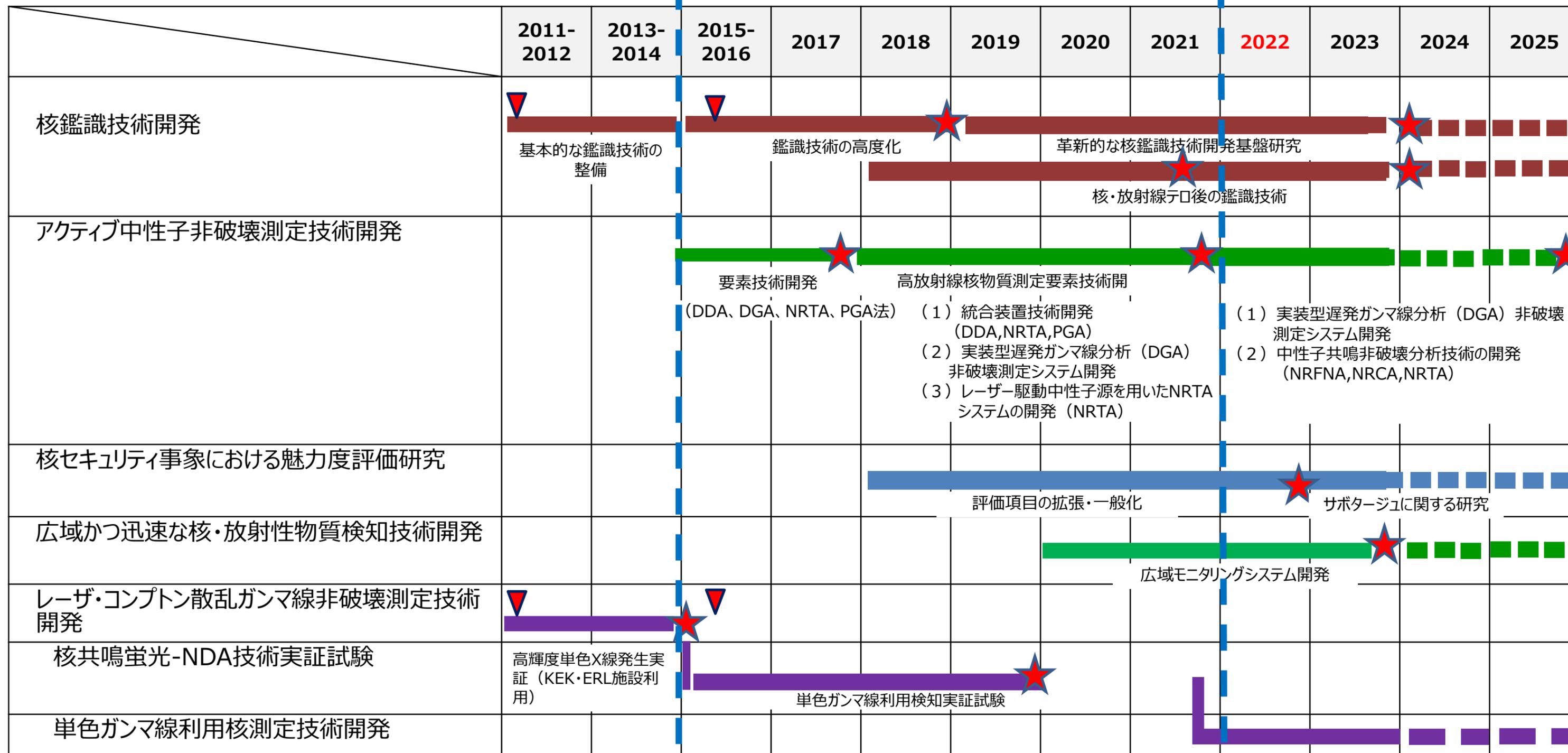


卓上型NRTA装置（イメージ図）

主な技術開発のロードマップ

第3期中長期計画

第4期中長期計画



▼ 原子力科学技術委員会による評価

★ ワークショップ、チェックレビュー会合、技術会合、実証実験などによる成果発表

R5年度における主な成果

核鑑識技術開発

- DOE協力
 - ✓ ウラン鉱石・ウラン精鉱の核鑑識シグネチャ及びその分析法に関する共同研究（NP-13）において、国産を含むJAEA保有のウラン鉱石を共同分析試料として提供。各研究所において、共同分析ウラン精鉱試料のシグネチャ測定を実施。
 - ✓ NP-13において、核物質粒子形状解析に関する共同研究（旧 NP-08）を継続することを合意。
- 核鑑識国際技術ワーキンググループ（NF-ITWG）主催の第5回核鑑識ライブ러리机上演習（Galaxy Serpent）に参加し、機構が開発したシグネチャ解析技術の有効性を実証。

核鑑識の社会実装に向けた技術開発

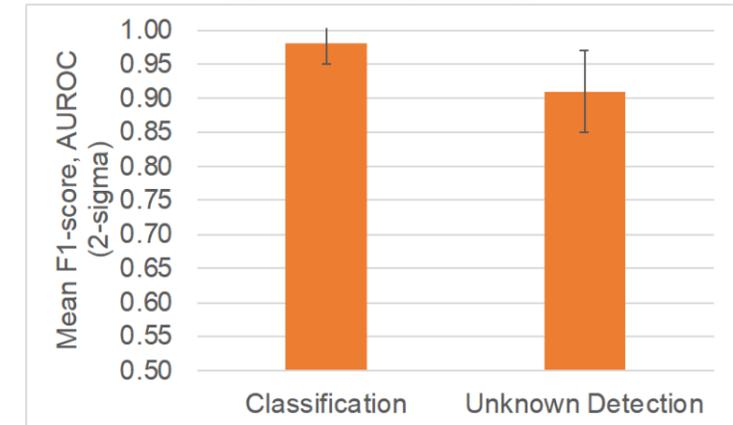
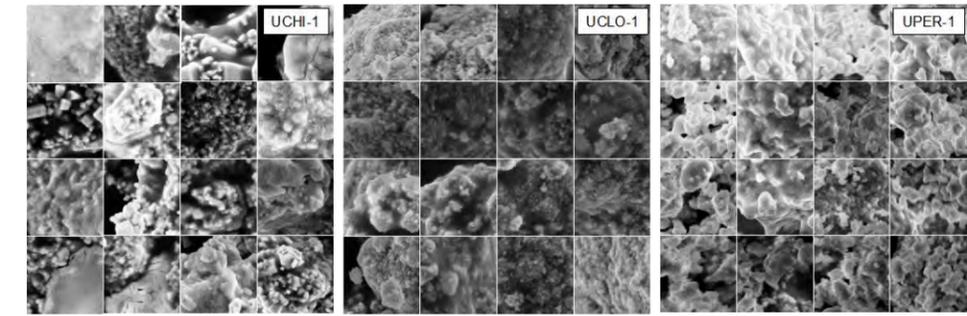
- 深層距離学習モデルを用いた顕微鏡画像解析による核物質表面パターン解析技術について、国際会議及び学術論文誌で成果を公開。同技術の改良・一般化に関する成果を国内学会で発表。
- 金沢大共同研究において、アルファ線スペクトロメトリによるウラン年代測定技術の有効性を実証し、国内学会で成果を発表。
- 市販CMOSカメラをベースとした証拠品汚染分布可視化技術に関する基礎試験を実施。

テロ発生後の核鑑識技術開発

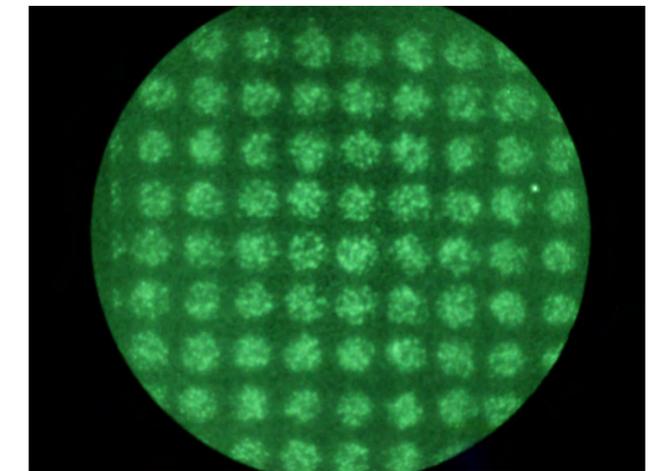
- 複数の低コスト小型検出器を使用したハイブリッド型放射線測定システムの成果が学術論文誌に採択。テロ対策特別装備展（SEECAT2023）に出展。
- 警察庁、科警研との意見交換会を実施。

⇒R6年度は上記技術開発の成果をIAEA国際会議で報告・レビュー。

Pu核鑑識について環境整備等を実施する等、核鑑識技術の社会実装に向けた研究開発に着手する。



深層距離学習モデルによるUOC標準試料の識別性能



市販CMOSカメラベースの可視化装置によるアルファ線源の撮影画像

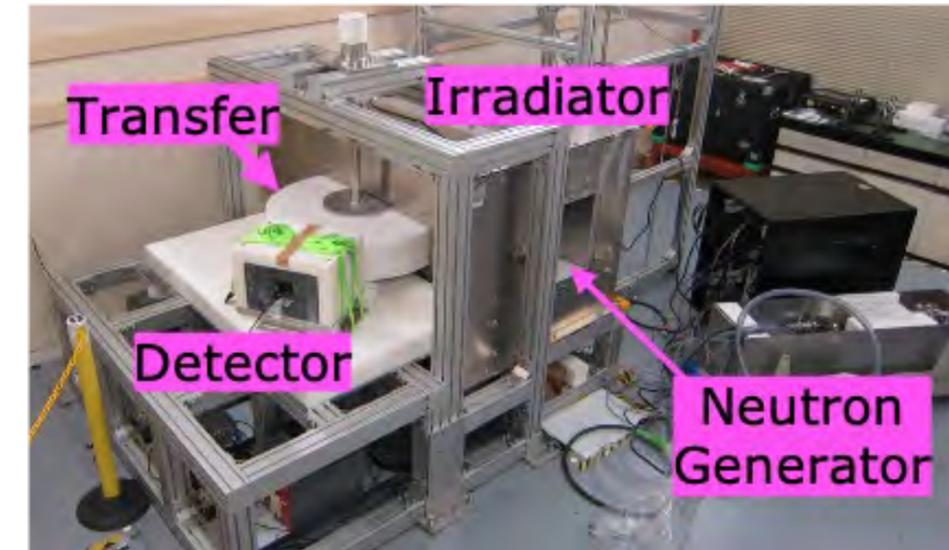
R5年度における主な成果

アクティブ中性子非破壊測定技術開発

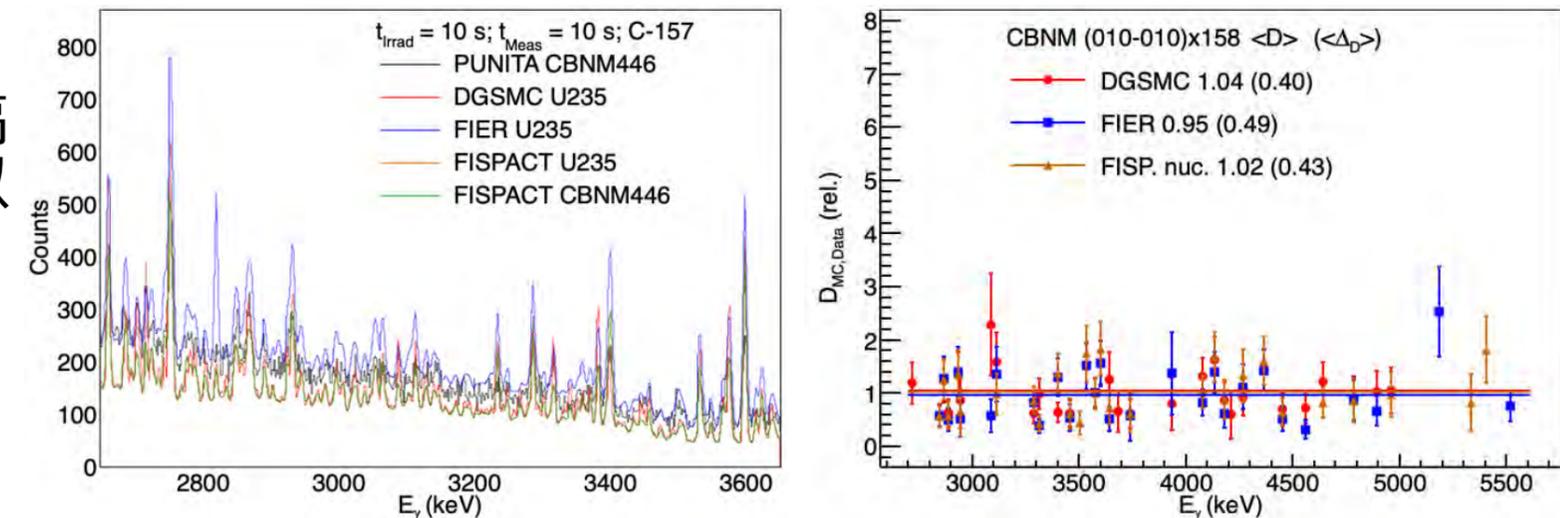
(1) 実装型遅発ガンマ線分析 (DGA) 非破壊測定システム開発

- R4に設置された実装型の非破壊測定システム (FSAI) の調整、基礎試験
 - D-D中性子源を用い、システム全体を小型化。追加的な安全装置を設置。
 - 遅発ガンマ線と遅発・即発中性子を用いた核分裂性物質分析の高度化
 - 金属箔を用いた基礎的な試験を実施。
- 実験結果とシミュレーション結果 (DGSMC) を比較した論文を投稿
 - 実験結果とシミュレーション結果の比較に加え、Monte Carlo以外のシミュレーションコードとの比較も実施。
 - fission yield について、今後の改善に資する基礎的データ

R6年度は実装型の非破壊測定システム (FSAI) の総合的な特性評価を進めるとともにシミュレーションコード (DGSMC) の改良を継続。



Fission Signature Assay Instrument (FSAI)



実験結果とシミュレーション結果の比較

R5年度における主な成果

アクティブ中性子非破壊測定技術開発 (2) 中性子共鳴非破壊分析技術開発

NRFNA技術開発

- 優れたn/γ弁別能力を持つPSDシンチレーション検出器(EJ-276)を採用及び検出器(EJ-276)のパラメータの最適化。
- 検出器(EJ-276)を組み合わせて、検出効率を向上。
- 採用した検出器(EJ-276)と天然ウラン試料を用いたNRFNA実験では、以前の実験より高いn/γ弁別で天然ウラン中の²³⁵Uのエネルギースペクトルを取得することに成功。
- また、天然ウラン試料の様々な形状(厚さ)に従って、核分裂共鳴ピークの計数率が増加していることを確認。

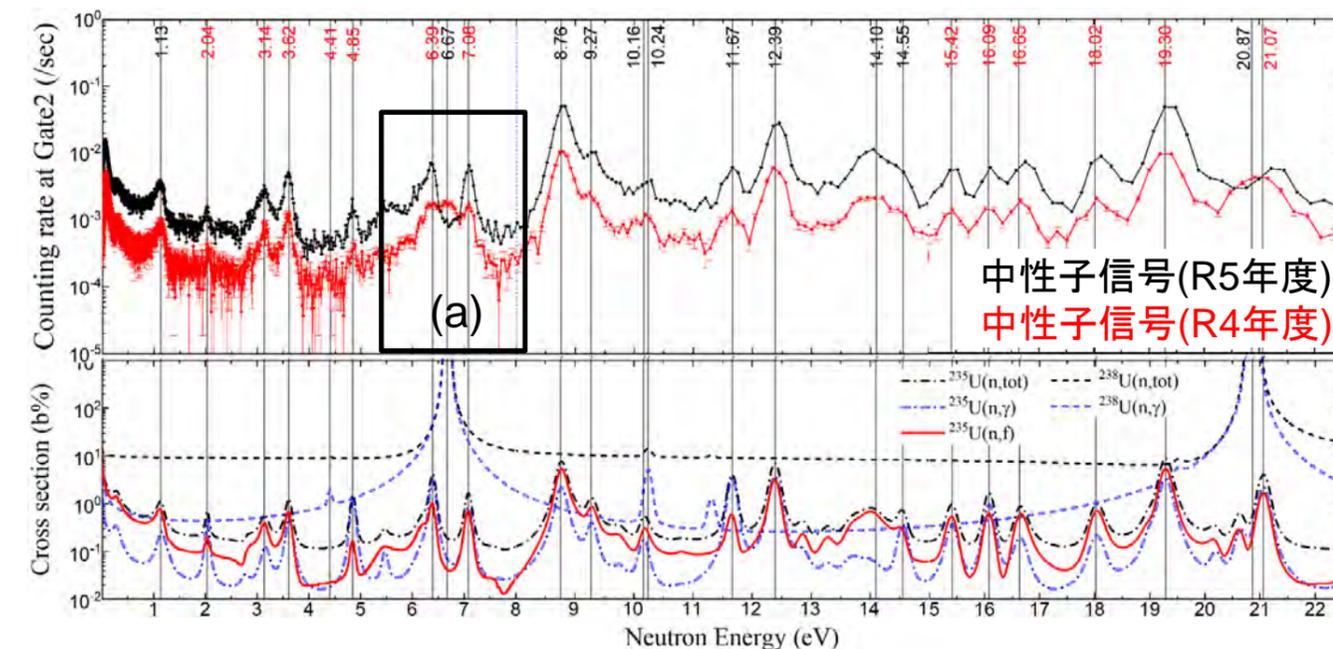
R6年度の計画

- 遮蔽材などに隠蔽された核物質におけるNRFNAの核検知能力の評価実験を実施する。
- 様々な形状(厚さ)の天然ウラン試料から得られたスペクトルを解析する。
- 向上されたNRFNAとNRTA検出系を用いて、NRFNAとNRTAの同時測定実験を進める。
- NRTAとNRFNA同時測定によるスペクトル解析手法の開発する。



核分裂中性子検出システム

NRFNA実験で取得したスペクトル



[上図]新しく採用した検出器(EJ-276)から得られた天然ウランのエネルギースペクトルを以前の結果と比較したもの(黒線: R5年度, 赤線: R4年度)

(a)の結果において、R5年度の中性子信号(黒線)では²³⁸U(n,γ)反応による共鳴ピーク(6.67eV)が無くなっていることから、以前より高い精度で核分裂高速中性子のエネルギースペクトルを取得することに成功したことがわかる。

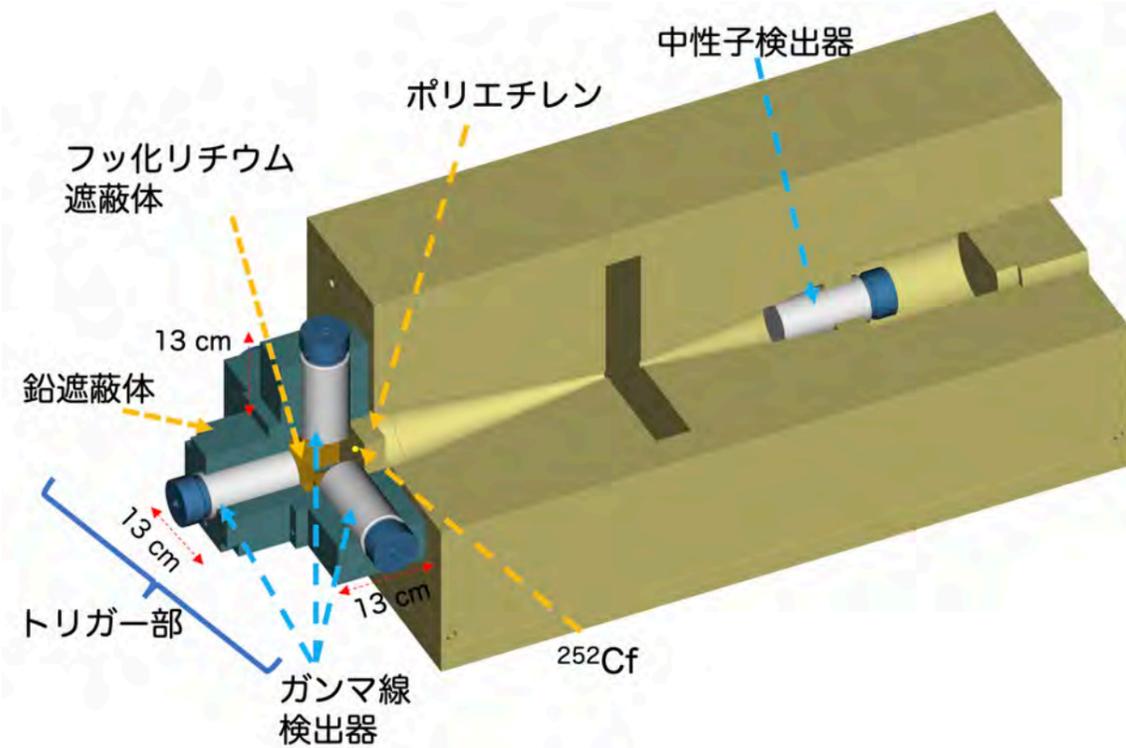
[下図] 天然ウラン中の²³⁵Uと²³⁸Uの核反応確率(b%)を示したもの

R5年度における主な成果

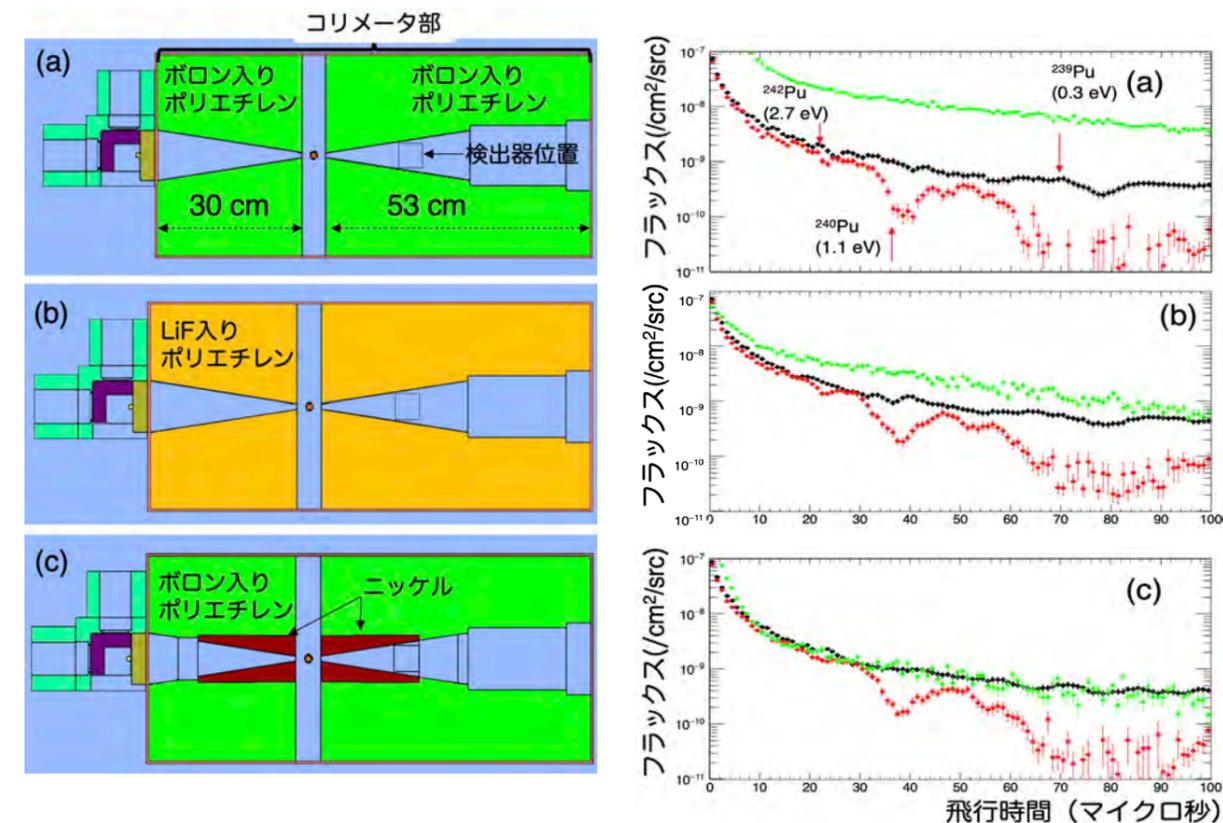
卓上型NRTA装置開発

- 小型で設置および取り扱いが容易な装置を目指し、Cf線源を中性子源とする卓上型NRTA装置を開発する。
- 分析精度低下の主要因となるガンマ線バックグラウンド低減のため、コリメータの材質やガンマ線検出器の遮蔽方法などについて、シミュレーションを用いて検討を進めた。

R6年度は、これらの成果を受け、試作装置を改良し、卓上型NRTAの実証装置開発を進める。



卓上型NRTA装置

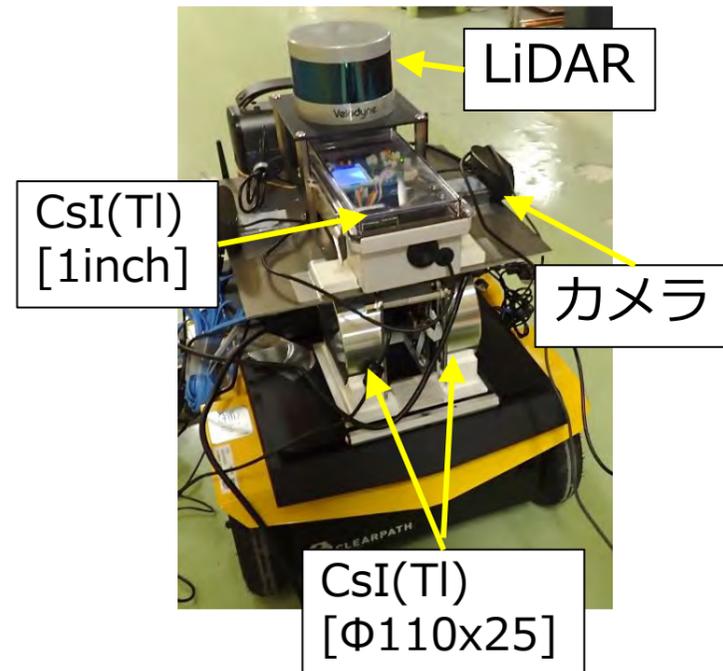


コリメータ材質の変更によるガンマ線バックグラウンドの低減

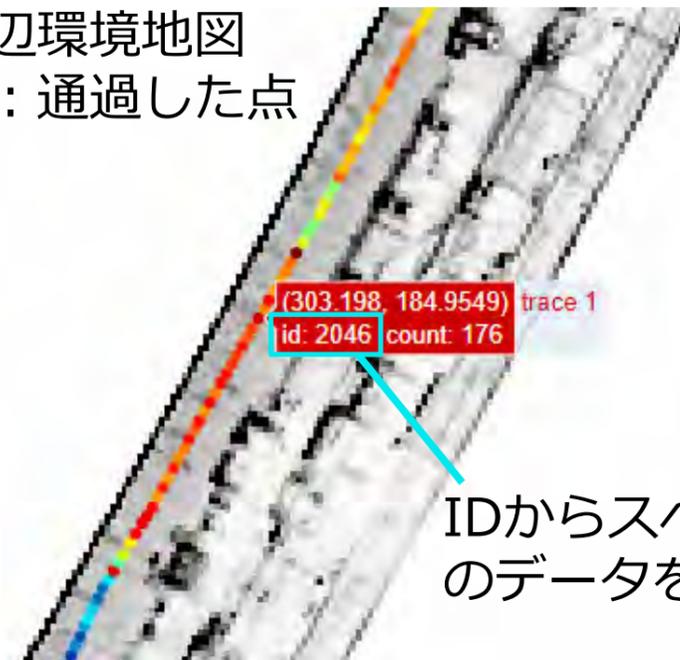
R5年度における主な成果

広域かつ迅速な核・放射性物質検知技術開発

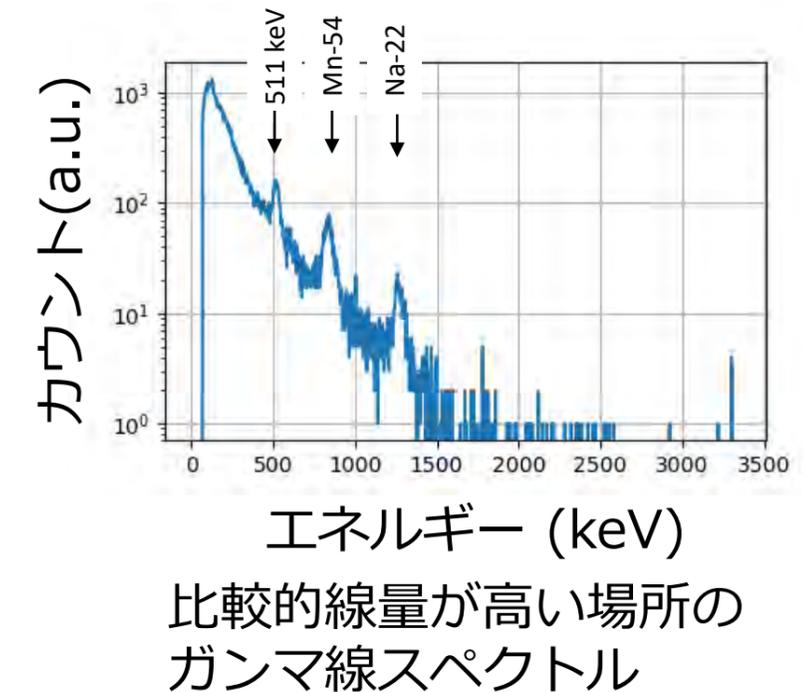
- LiDARを用いた3次元SLAM技術と放射線検出器を組み合わせ、屋内で放射線マッピングを行う装置を開発した。本装置を用いて、高エネルギー加速器研究機構SuperKEKB施設において、放射化による放射性物質の場所を特定する試験を実施し、放射性物質の位置及び核種を無人測定で特定できる見込み得た。



黒：周辺環境地図
色付き：通過した点



IDからスペクトルや写真のデータを検索できる



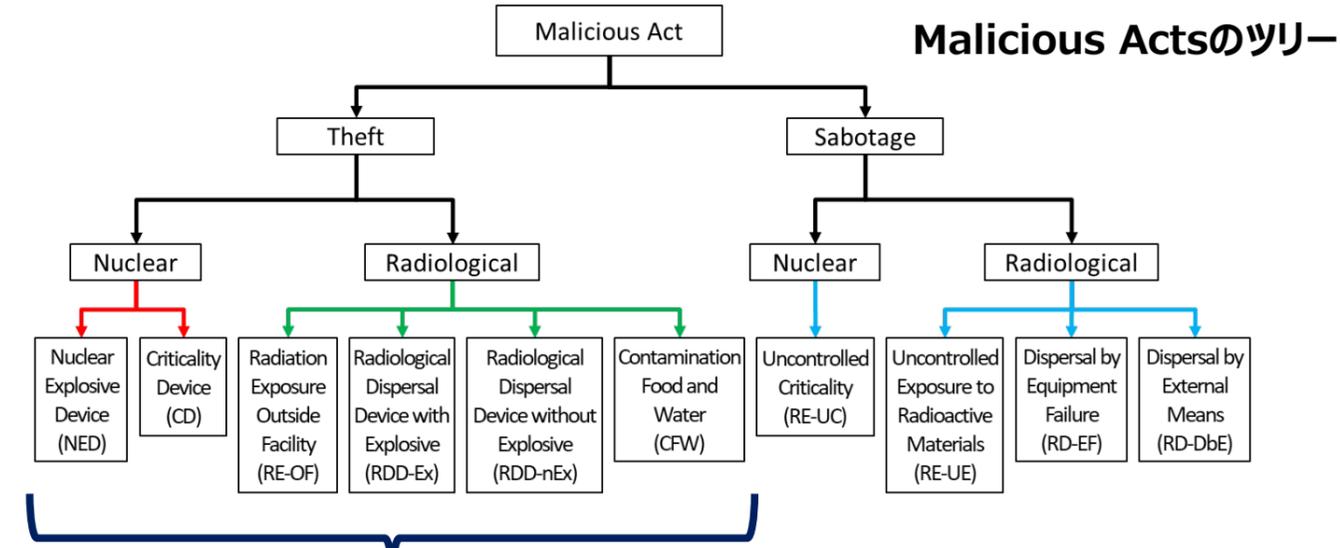
- 中性子線源を迅速に見つけ出すための装置として、方向の異なる2枚のプレート型プラスチックシンチレーション検出器を用いて移動しながら測定し、線源の位置を推定する技術の試験を実施した。

R6年度は、ネットワーク技術を実装した遠隔測定試験を実施するとともに、屋内マッピング装置の高度化を進める。

R5年度における主な成果

魅力度評価研究

- DOEと共同で核セキュリティに係る核物質を含む放射性物質の魅力度（その物質がどの程度テロ行為に使われやすいかという指標）評価に関する研究（平成29年度～）。
 - 盗取を対象とした物質の魅力度評価手法の共同研究成果をまとめた最終報告書を作成。
 - 妨害破壊行為（サボタージュ）の評価指標等の開発に着手。テロ行為の完遂確率評価、テロリストの能力、サボタージュ分析に用いる原子力施設のインベントリ等を評価中
 - 産業技術総合研究所との爆発実験に関する共同研究に向けた協議を開始
- R6年度は、盗取の評価手法をICONS2024で報告、サボタージュの評価手法開発及び盗取との統合、SMRや革新炉への適用可能性を検討予定。



R4までの評価実施済項目
 ⇒R5年度よりサボタージュ指標開発を実施

その他の技術開発

核拡散抵抗性技術開発

これまで第4世代原子力システム国際フォーラムの核拡散抵抗性及び核物質防護評価手法作業部会(PRPP WG)の活動に参加し、高温ガス炉を対象としたPRPP白書の執筆を担当するなど国際的な貢献を行ってきた。今年度は特に高温ガス炉に関し、3S Interface会合での議論に貢献。

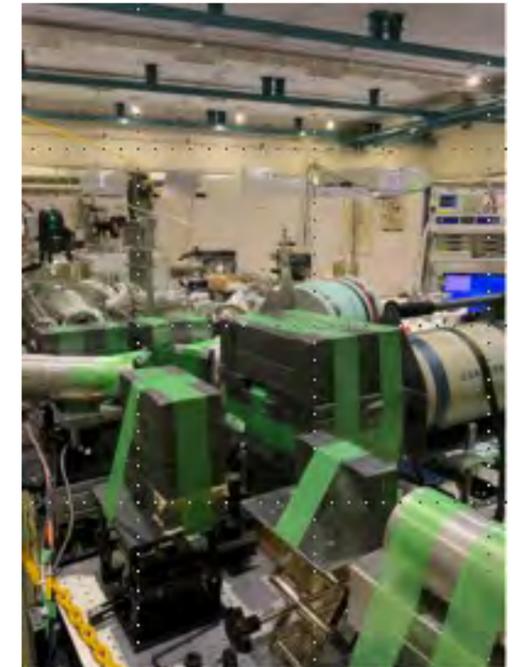
レーザーコンプトン散乱ガンマ線非破壊測定技術開発

単色ガンマ線利用核測定技術開発

- ガンマ線を用いた非破壊測定法。核物質の定量や隠匿核物質等の検知に応用可能。
- 分子研UVSOR施設においてNRF実験を実施。R6年度は今年度採択された弾性散乱に関する実験を米Duke大HIGS施設にて実施予定。



VHTR白書
 (GEN IVウェブサイトで公開中)



NRF試験@分子研

R6年度取組のハイライト

基本的には現状の取り組みを継続。

核鑑識技術開発

技術開発の成果をIAEA国際会議で報告・レビュー。Pu核鑑識の着手。

アクティブ中性子非破壊測定技術開発

(1) 実装型遅発ガンマ線分析 (DGA) 非破壊測定システム開発

装置開発、計算コード開発を継続。

(2) 中性子共鳴非破壊分析技術開発

遮蔽材などに隠蔽された核物質の評価や実験データの評価、評価手法の開発を実施。

卓上型NRTAの実証装置開発の継続

広域かつ迅速な核・放射性物質検知技術開発

今フェーズの成果を基に、新たなネットワーク技術を用いた遠隔試験を実施。

魅力度評価研究

盗取の評価手法をIAEA核セキュリティ会議 (ICONS2024) で報告、サボタージュの評価手法開発及び盗取との統合、SMRや革新炉への適用可能性を検討開始。