



資料 3-2
科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会
原子力科学技術委員会
核不拡散・核セキュリティ作業部会
(第26回)
R6. 6. 13

ISCNにおける 技術開発・人材育成等の今後の取組について (技術開発ロードマップ案)

2024年 6月13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)

Integrated Support Center for Nuclear Nonproliferation and Nuclear Security

技術開発に関する基本的考え方

- 国内外から、核セキュリティ強化に向けた研究開発及びそれらの支援等の協力等の要請・期待
- 我が国の核不拡散・核セキュリティの確保に貢献していく責務



国内外からのニーズに基づく技術開発 この分野の我々の強みを生かした技術開発

これまで：

- 関係者との意見交換、米国やEC等のバイ及び多国間の国際会議、IAEAの文書等によりニーズの抽出
- ISCN核不拡散・科学技術フォーラムにおいて技術開発成果及び方向性・計画等につき議論
- 文部科学省 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 原子力科学技術委員会 核不拡散・核セキュリティ作業部会にて「今後の核不拡散・核セキュリティ研究開発の進め方」を取りまとめ。引き続き同作業部会で技術開発の方向性を議論

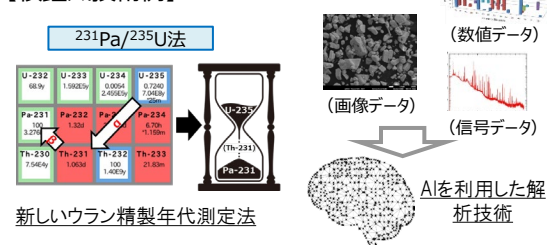
主な技術開発

核セキュリティ技術開発

核鑑識技術開発

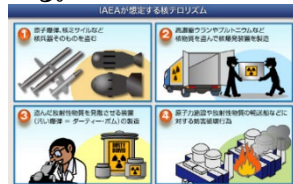
核物質の不法取引等の現場から警察当局に押収された核物質や、核・放射線テロの発生現場で採取された核物質・汚染試料について、精密な測定により、試料に含まれるウラン・プルトニウム等の同位体比の違いや精製年代を同定し、犯罪行為に使用された当該物質の由来の特定を可能とする技術開発を日米欧の協力の下実施する。

【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。



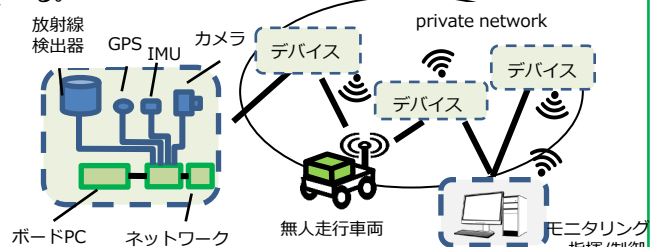
注：②～④が対象



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。

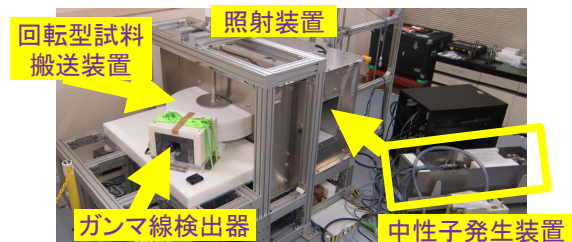


広範囲且つ省電力なネットワーク規格や無人機を用いた自動化を利用して、多様な場面で利用可能な技術を開発する。

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

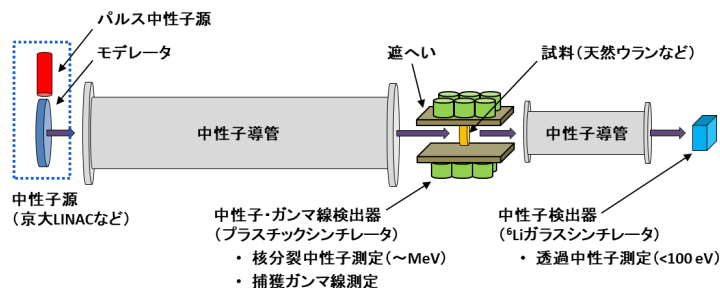
使用済み核燃料溶解液など、高線量核物質含有物中の核分裂性核種比を測定するための非破壊（NDA）測定システムをシミュレーションをベースとして開発する。核燃料物質を用いた実験によりシミュレーションの妥当性検証を日欧協力で行う。今フェーズでは実装型として小型化等を目指した開発を行う



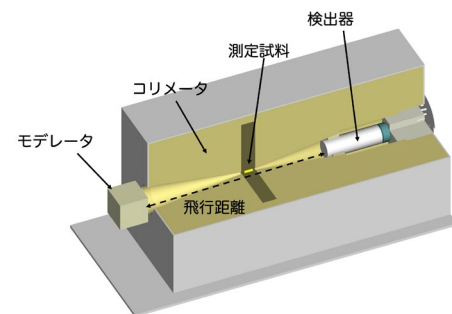
開発中の実装型遅発ガンマ線分析非破壊測定システム

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。

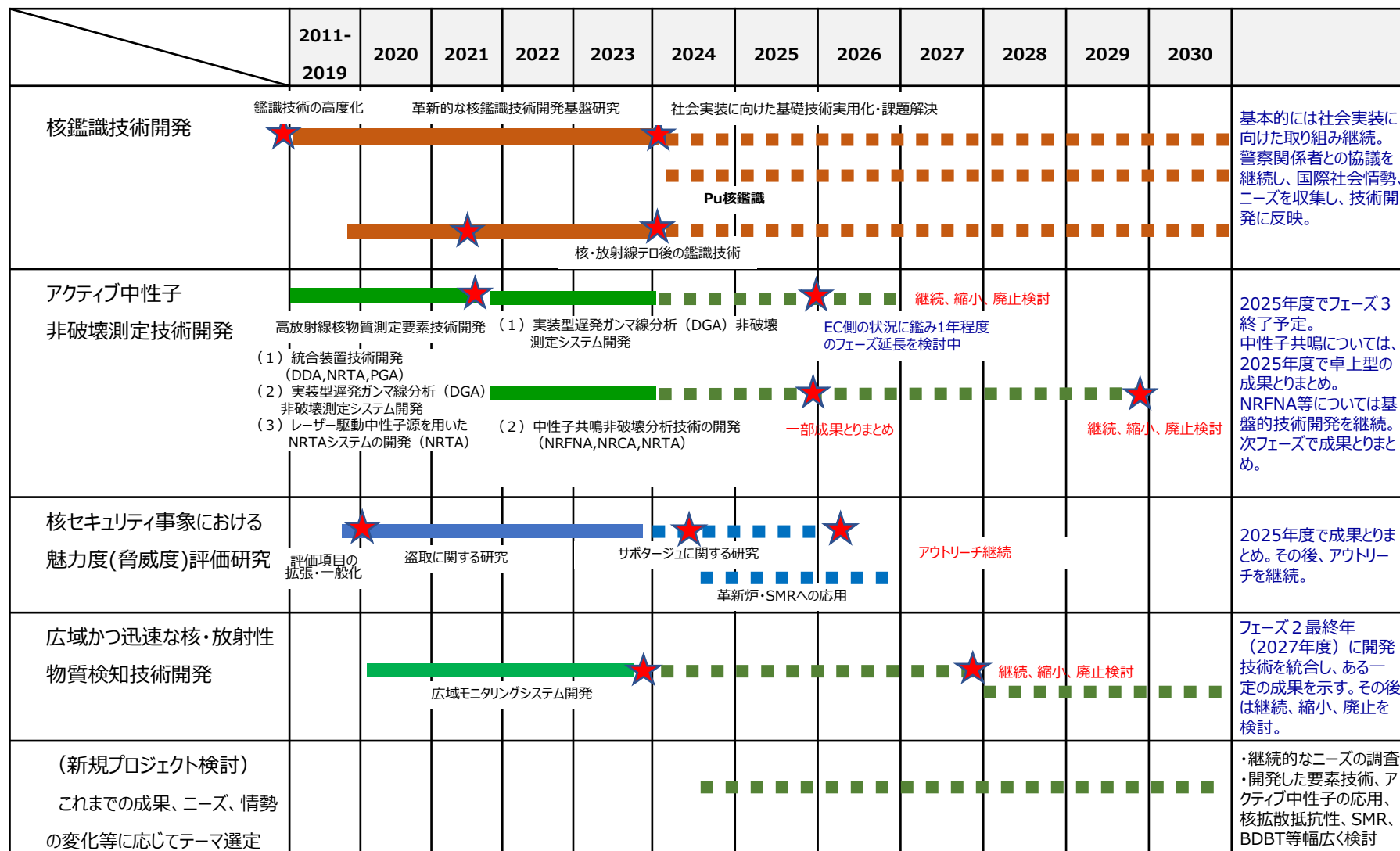


中性子共鳴分析装置（イメージ図）



卓上型NRTA装置（イメージ図）

技術開発のロードマップ



社会実装の将来像

核鑑識技術

社会実装に向けた基礎技術実用化・課題解決を行い、成果を学会、IAEA、ITWG等を通じて共有（ICONS: 4年毎に報告）。開発した核鑑識技術を新興国や大学等に展開。

Puを対象とした基礎分析技術の実証、高度化を進め、Pu核鑑識技術を実用化（ICONS: 4年毎に報告）。

開発した核鑑識技術の国際展開（特にアジア地域）による核セキュリティの強化。

国レベルでの核鑑識ラボ設立時に開発した核鑑識技術の提供

Pu利用を進める日本として、Puを対象とした核鑑識分析能力を保有。

アクティブ中性子非破壊測定技術

DD中性子源を使って、再処理施設等への適用を目指した小型DGA装置の開発を進める（2025年度C&R）。

NRAシステムの開発ではパルス中性子源を使った測定手法の高精度化、高感度化を目指すとともに、並行して装置の小型化技術の開発を進める（2025年度C&R）

将来の革新炉サイクル等の核物質測定に有用な技術を提案。

次のステップである小型システムの開発につなげる。得られた知見をNRAシステムの小型装置開発等に適用。

魅力度(脅威度)評価研究

開発した魅力度評価手法を開発（2025年まで） ICONS、学会、IAEAに対するデモ等を通じてアウトリーチし、開発した技術の展開（ICONS2020、ICONS2024で発表。2026年度ごろIAEAに対するデモ）

評価手法をSMR,革新炉に展開する（2024-2026年度）。

脆弱性評価のレベルを向上させ、核物質等の核セキュリティ対策の最適化に貢献。

広域かつ迅速な核・放射性物質検知技術

核放射性物質を効率的にサーベイするための要素的な技術を開発し、学会発表を通じて成果を展開（2023年度）。

要素技術をを組み合わせたシステムを開発し、システムの高度化を進める（2027年度C&R）。

大規模イベント等における会場内核物質等の効率的検知技術開発で核セキュリティ強化に貢献。

核鑑識技術開発

概要

核物質や放射性物質を使用したテロ行為等からの国民の安全確保、警察等による捜査に貢献する核鑑識技術の社会実装に向けて以下を実施。

- ✓ 核鑑識分析結果解析への人工知能(AI)の適用など革新的な核鑑識技術の開発と実用化
- ✓ 核物質や放射性物質がテロ等に使用されてしまった後（テロ事象後）を対象とした核鑑識技術開発と実用化
- ✓ 核鑑識の社会実装に向けた技術的な課題を解決するための基盤技術の研究

国外共同研究機関：米国エネルギー省（DOE），
EC共同研究センター（EC-JRC）

核鑑識の社会実装に向けた技術開発

2012年度 ～ 2018年度

2019年度 ～ 2023年度：基盤技術開発

2024年度以降：実用化研究、技術的課題解決

〈核鑑識技術開発前〉

犯罪行為等に使用された核物質等の識別、出所や違法な取引等に至った経緯を分析することができない。
⇒違法な移転等に対して適切な捜査等ができない。

基本的な核鑑識技術の整備と高度化技術開発

基本的な核鑑識技術の整備：

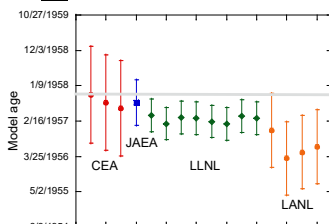
- ・ウラン精製時期測定法
- ・ウラン同位体比測定法
- ・粒子分析手法
- ・不純物分析手法

➤ 基礎的な核鑑識技術を整備

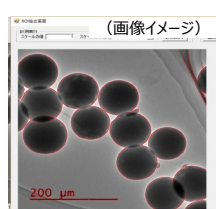
核鑑識技術の高度化：

- ・新しい精製時期測定法（DOE, EC-JRC共同研究）
- ・顕微鏡画像の定量評価手法（DOE共同研究）

➤ 分析の迅速化
➤ 分析結果の信頼性向上



ウラン精製時期測定の共同分析試験結果



1. 革新的な核鑑識技術の基盤研究： 世界に先行する新しい核鑑識技術の開発

- ・人工知能技術、オートラジオグラフィの核鑑識への適用
- ・ウラン鉱石のシグネチャ研究及びその分析技術開発

2. 核・放射線テロ事象後を対象とした核鑑識に関する技術開発： 核・放射線テロ事象前後の包括的核鑑識技術開発

- ・現場初動対応を支援する原因核種検知、飛散分布画像化技術
- ・現場試料（土壌等）に含まれる核物質等の分離精製・分析技術
- ・テロ使用前物質の起源特定のための特徴解析手法

➤ 社会実装のための基盤技術を開発

3. 社会実装に向けた基盤技術実用化のための応用研究：

- ・人工知能によるシグネチャ解析システムの開発
 - ・初動対応支援のための原因核種検知装置、飛散分布画像化装置開発
- ### 4. 社会実装のための技術的課題解決：
- ・プルトニウム分析技術、アクティブ中性子技術を応用した非破壊分析技術の開発
 - ・放射線損傷解析による核鑑識分析手法開発、Nテロに関するシグネチャの研究

➤ 実用化のための性能検証、依然残る技術的な課題の解決

違法な移転、核物質・放射線テロ等の現場で押収された核物質・放射性物質の出所や犯罪行為に使用された経緯を分析可能

- ・原子力の安全・平和利用を進める国家の責任として整備が求められている核鑑識技術を確立
- ・警察等の捜査を支援
- ・核物質・放射性物質を使用した犯罪行為による公衆国民の被ばくリスクの低減
⇒国民の安全確保に貢献

R6年度は技術開発成果を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。

※核鑑識：犯罪行為等に使用された核物質や放射性物質の特徴を分析し、製造・加工された国・工場といった起源や履歴を特定する手段

アクティブ中性子非破壊分析技術開発

(1) 実装型遅発ガンマ線分析非破壊測定システム開発

概要

再処理施設などで高線量核物質量の検認作業を効率化し、核物質を含む廃棄物を低減する新たな非破壊分析技術を確立し、実際に使える非破壊測定システムを提案する。核物質に中性子を照射して核分裂を引き起こし、それによる生成核（核分裂生成物）が崩壊する際に放出する遅発ガンマ線を分光・分析して、核物質中のU、Pu等の核分裂性核種比を求めるDGA法の技術開発を行う。

- ✓ 実用可能な小型装置開発のため、試料に中性子を効率的に照射できる中性子発生源や装置の材質を検討するため、シミュレーション研究を行う。
- ✓ 実用化において、より扱いやすく小型な装置にするため、中性子発生装置（DD中性子源*）の導入し、これを用いた装置開発を進め、システム実証実験をおこなう。

（国外共同研究機関：EC共同研究センター（EC-JRC））

アクティブ中性子非破壊測定技術開発開始

実装型遅発ガンマ線分析非破壊測定システム開発

・再処理施設、次世代革新炉等での高線量核物質の計量管理・査察検認に適用
・業務の迅速化・廃棄物の低減化が実現

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。

2015 ～ 2017年度

ワークショップ

2018 ～ 2021年度

ワークショップ

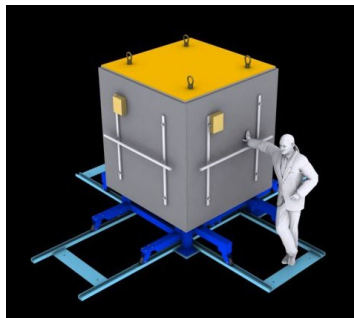
システムの提案 提案システムの実証

2022 ～ 2025年度

ワークショップ

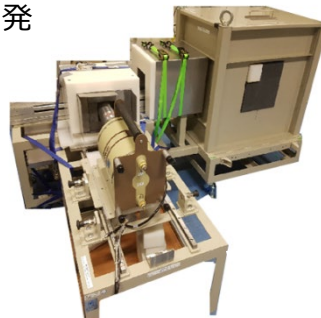
社会実装イメージ

DGA基礎技術開発



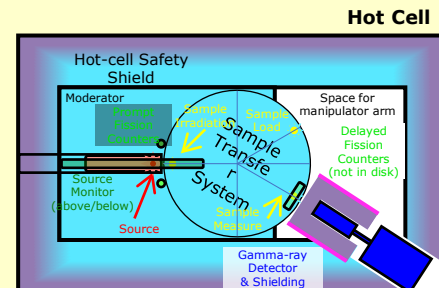
EC-JRC Ispraでの共同研究

Cf線源を用いた装置開発



EC-JRC Ispraでの共同研究

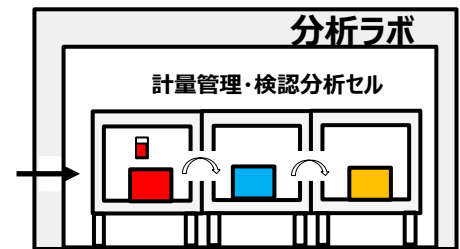
遅発ガンマ線分析装置



DD中性子管を用いた装置をホットセル内に収納（概念図）。回転型試料輸送システムを用い、中性子照射と測定を繰り返す。

DGA・DDA融合

各プロセスから送られてきた試料に対し、HKED、DGA、DDAといった非破壊分析技術を組み合わせた分析を行う



※DD中性子源：二重水素（D, ^2H ）同士を衝突させて中性子を発生させる小型装置。DT中性子源より中性子強度が弱い。

アクティブ中性子非破壊分析技術開発

(2)中性子共鳴非破壊分析技術の開発

概要

中性子飛行時間（TOF）測定法を用いる中性子共鳴非破壊分析技術の開発を進める。本技術開発では中性子共鳴核分裂中性子分析（NRFNA）技術を新たに提案し、これを導入することで、試料中に少量含まれる核分裂性物質の分析能力を向上させる。なお、この技術は、中性子共鳴透過分析（NRTA）法や中性子共鳴捕獲分析（NRCA）法と相補的な測定法として用いることができる。さらに、並行して設置が容易で可搬な、卓上型装置の開発を行う。

- ✓ 次世代施設における高線量の核燃料物質（固体）を非破壊測定する新しい技術として、NRFNA測定技術を確立する。
- ✓ NRFNAと、NRTAおよびNRCAと組み合わせた同時測定を行い、より高度な分析技術（複合測定技術）を開発。

アクティブ中性子非破壊測定技術開発（統合装置技術開発）

★ 技術実証・ワークショップ開催

（国外共同研究機関：EC/JRC）

2012～2014年度

粒子状核物質の高精度測定技術実証

NRD技術実証ワークショップ
粒子状試料中核物質の定量

NRD技術（中規模施設）



EC-JRCとの共同研究

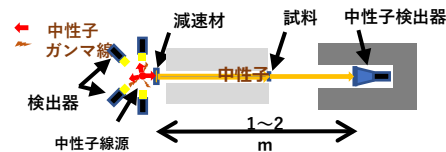
高線量の核物質測定のための小型複合測定装置の開発

2015～2017年度

Phase-I

DT中性子源を用いた小型複合測定装置の開発
分析要素技術の確立

小型アクティブ中性子分析技術の確立



卓上型NRTAシステム（概念図）

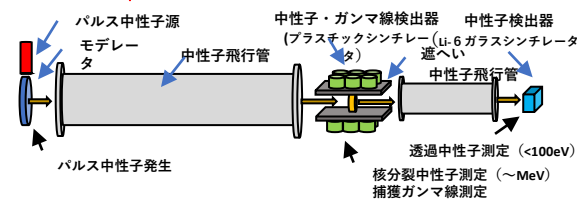
2018～2021年度

Phase-II

2022～2025年度

NRFNAの測定基礎技術の確立
卓上型装置の開発

高感度化・
実用開発



NRFNA-NRCA-NRTA複合装置（概念図）

- ・福島デブリ非破壊分析
- ・次世代施設等での高線量試料測定
- ・核鑑識等への適用
- ・不審物の安全な取扱

R6年度：遮蔽材などに隠蔽された核物質に対する核検知能力の評価実験。

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の解析。

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、スペクトル解析手法開発。

卓上型NRTAの実証装置開発継続

核セキュリティ事象における魅力度評価に係る研究

目的・概要

- 核セキュリティ事象*に対する核物質等の脆弱性*評価法を向上させ、核セキュリティ措置の最適化へ反映させることを目的とする。
- 日米政府の協力枠組みである日米核セキュリティ作業部会（NSWG）*の下で、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)*及び放射性物質の飛散装置（RDD）の製造を目的とした盗取、原子力施設の妨害破壊行為（サボタージュ）に対し、包括的な核物質・放射性物質の魅力度*評価手法を日米共同で開発する。
- 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。

実施期間

- 平成29年度に予備検討を実施し、平成30年度から開始

期待される成果

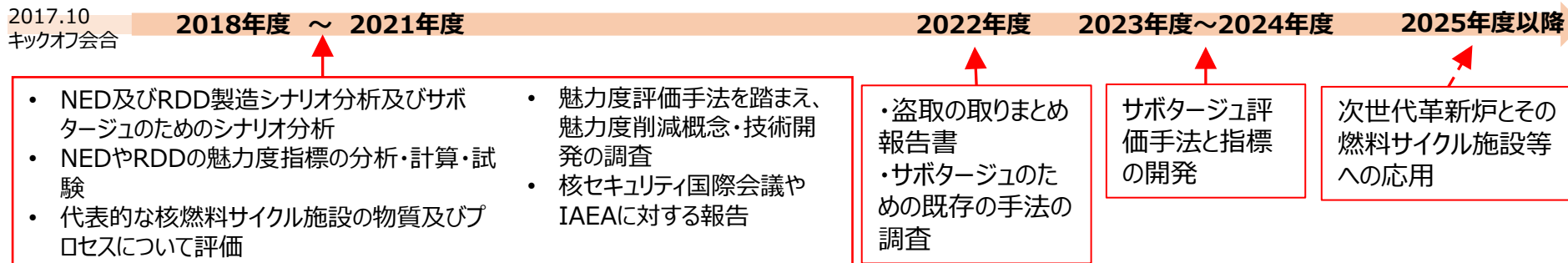
- 魅力度評価手法等の開発により、核物質等の脆弱性評価のレベルを向上させ、
- 核物質等の核セキュリティ対策の最適化に貢献する。

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。

将来的には

将来的な核セキュリティ対策の最適化検討へ貢献

（国外共同研究機関：米国エネルギー省（DOE））



* 核セキュリティ事象：核物質や放射性物質を用いたテロ行為

* 脆弱性：核物質が核爆発装置、放射性物質がダーティボム(放射性物質を公衆に飛散させる爆弾)等のテロの手段として使用されてしまうこと

* 日米核セキュリティ作業部会（NSWG）：2012年発足の民生用原子力に関する日米二国間委員会の傘下の5つの作業グループのひとつ。11分野で協力を実施。

* 核起爆装置（NED）：一般的に核兵器といわれるもの *物質の魅力度：その物質がどの程度NEDやRDDに用いられやすいか、という指標

広域かつ迅速な核・放射性物質検知技術開発

概要

- 大規模イベント等における核・放射性物質（NM/RI）を使用したテロ等を防止する目的で、広範囲でNM/RIを迅速に検知し、線源の場所を特定するための、(1)高度な広域サーベイシステム、(2)高感度ガンマ線イメージング技術、(3) NM探知のための中性子検出器の開発を行う。そして、開発した技術を組み合わせ、核セキュリティの現場に実装可能な多角的検知・モニタリングシステムの構築を目指す。
- ✓ イベント会場及びその周辺の広範囲をモニタリングするためのシステムを構成する要素として、放射線マッピング技術、線源探索技術開発、中性子源検知技術開発を進める。

2020年度 ～ 2023年度

要素技術開発

広域モニタリングシステムの要素技術開発

- ・ 広域サーベイ技術の高度化
 - マッピング技術の高度化
 - 自走装置やドローンへの組み込み
 - ネットワークによる情報集約
- ・ ガンマ線イメージング技術開発
 - 多核種対応高感度ガンマ線カメラの開発
- ・ 中性子源探査技術開発
 - 波形弁別法を用いた中性子感度向上
 - 高速中性子検出による線源方向推定

2024年度 ～ 2027年度

フィールド試験研究

要素技術を統合してシステムのフィールド試験を行う。得られた知見を用いて社会実装可能なシステムを提案する。



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の検知能力の向上

- ・核・放射性物質の検知能力が向上し、効率的に監視できるようになる。
- ・核テロの抑止力となる。
- ・核施設等における核・放射性物質の監視などPPへの適用が期待できる。
- ・廃止措置などにおける放射性物質のサーベイへの適用が期待できる。

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

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。

参考

ISCNの核不拡散・核セキュリティ技術開発

- 2010年の第1回核セキュリティサミットにおける日本声明を受けて、「核検知・核鑑識技術」開発に着手。文科省原子力科学委員会、核セキュリティ作業部会等での審議を受けて技術開発を実施。
- 原子力科学委員会の中間評価を受け（2015年）、その結果を踏まえ技術開発を展開。以後も、同作業部会での議論を継続。
- 核セキュリティサミット終了（2016年）以後の技術開発課題については、国際機関等のニーズ、核セキュリティ作業部会で議論が行われている俯瞰図、技術シンポジウム・ワークショップで得られた情報等に基づいて、技術開発を展開（2017年6月同作業部会中間とりまとめ）。
- 2018年6月、第16回核不拡散・核セキュリティ作業部会（第16回）において、核不拡散・核セキュリティ総合支援センター（ISCN）の2019年度以降の取組の方向性について了承。

技術開発の基本的な考え方

- JAEAの持つ施設、核・放射性物質、知見・経験、基盤技術を活用する。
- 核不拡散・核セキュリティを取り巻く海外動向の調査・分析を踏まえた課題・ニーズを特定する。
- 国際機関（IAEAの核セキュリティ協調研究プロジェクト（CRP））、国際協力のパートナーであるDOE/NNSA、EC/JRC等の意向を踏まえ、基本的に国際共同研究で進める。