

第3期中長期計画期間の成果と今後に向けて

—技術開発—



2022年3月2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

令和3年度第2回核不拡散科学技術フォーラム

目次

主な技術開発

技術開発のロードマップ

第3期中長期における主な成果

第4期中長期における技術開発の方向性

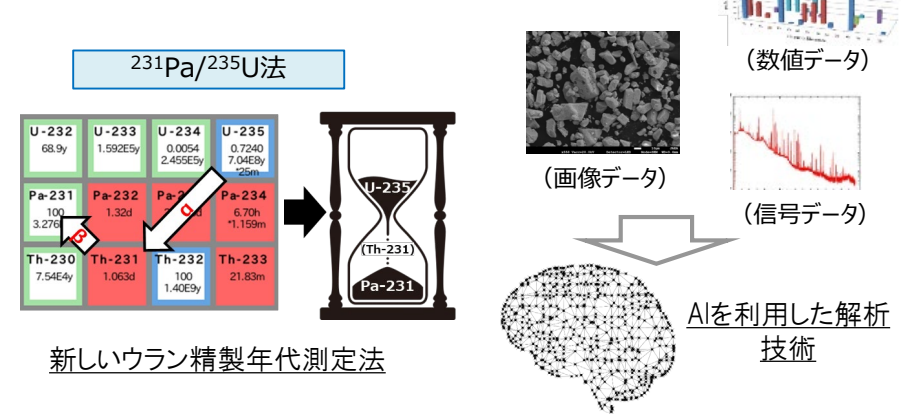
主な技術開発

核セキュリティ技術開発

核鑑識技術開発

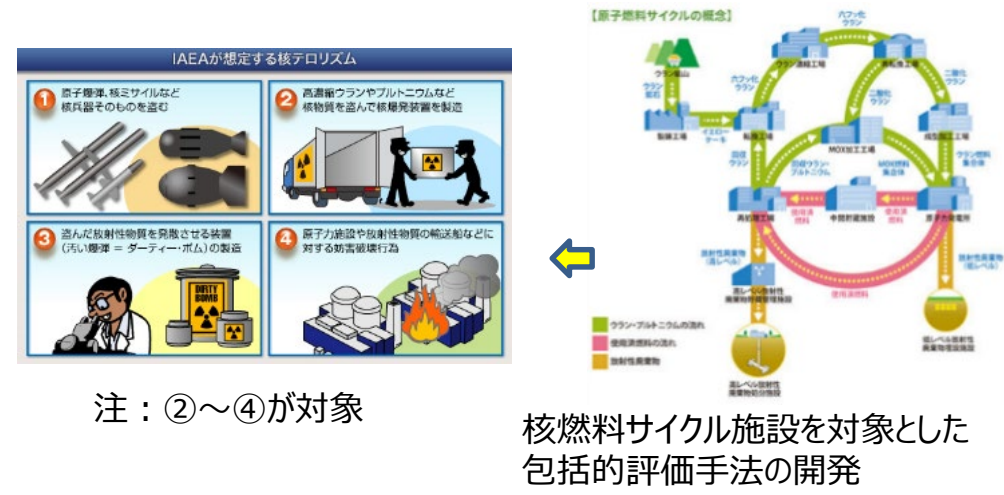
核物質の不法取引等の現場から警察当局に押収された核物質や、核・放射線テロの発生現場で採取された核物質・汚染試料について、精密な測定により、試料に含まれるウラン・プルトニウム等の同位体比の違いや精製年代を同定し、犯罪行為に使用された当該物質の由来の特定を可能とする技術開発を日米欧の協力の下実施する。

【核鑑識技術例】



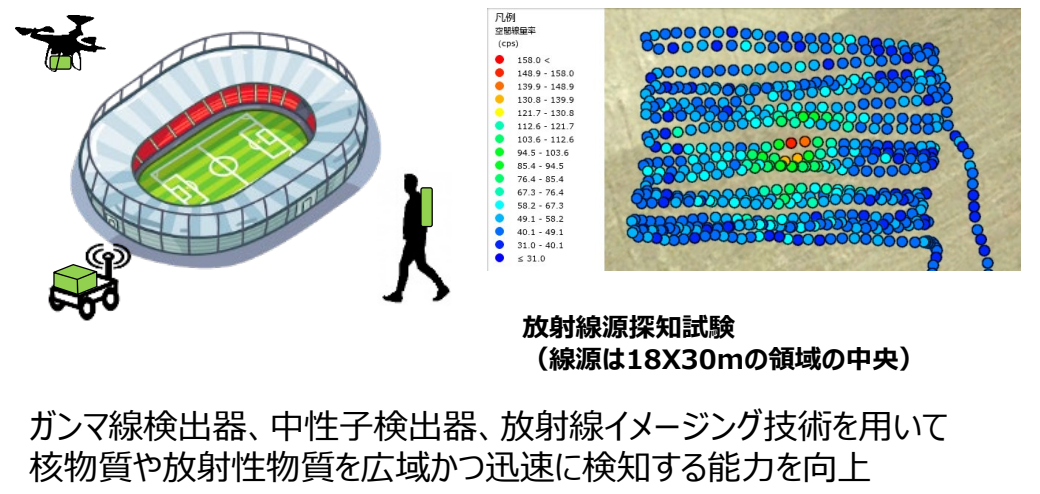
核セキュリティ事象における核物質魅力度評価に係る研究

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。



広域かつ迅速な核・放射性物質検知技術開発

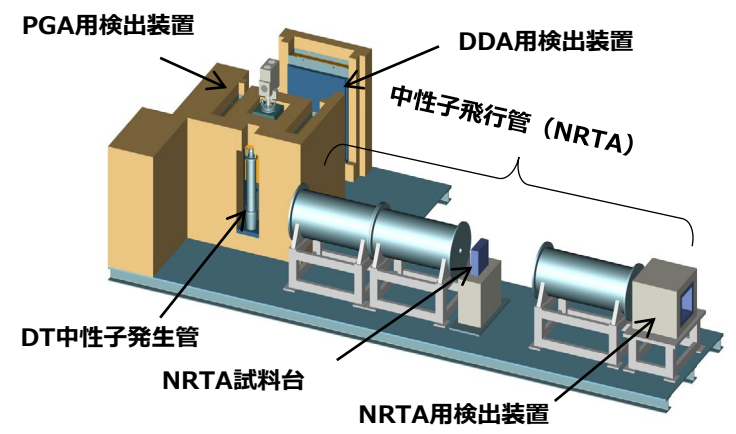
大規模イベントや大型商業施設等における核物質や放射性物質を使用したテロ行為の未然防止のため、広範囲での迅速な核物質、放射性物質の検知能力を高める必要がある。本研究では、ガンマ線検出器、中性子検出器、ガンマ線カメラなどを用いた放射線計測技術、放射能マッピング技術、及び放射線イメージング技術の開発を行う。



核不拡散技術開発

アクティブ中性子非破壊測定技術開発

高線量の核燃料物質を非破壊で定量的に測定する技術の開発を目指して、中性子源を用いた非破壊測定技術の基礎・実証試験を日欧の協力の下実施する。

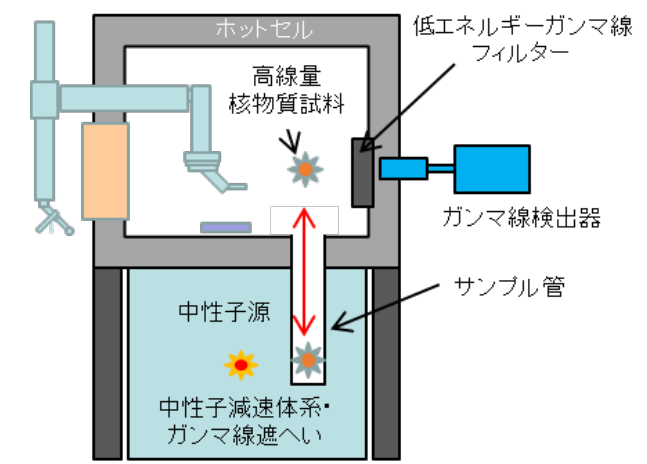


アクティブ中性子非破壊測定統合試験装置 (イメージ図)

(統合装置技術開発)

(実装型遅発ガンマ線分析非破壊測定システム開発)

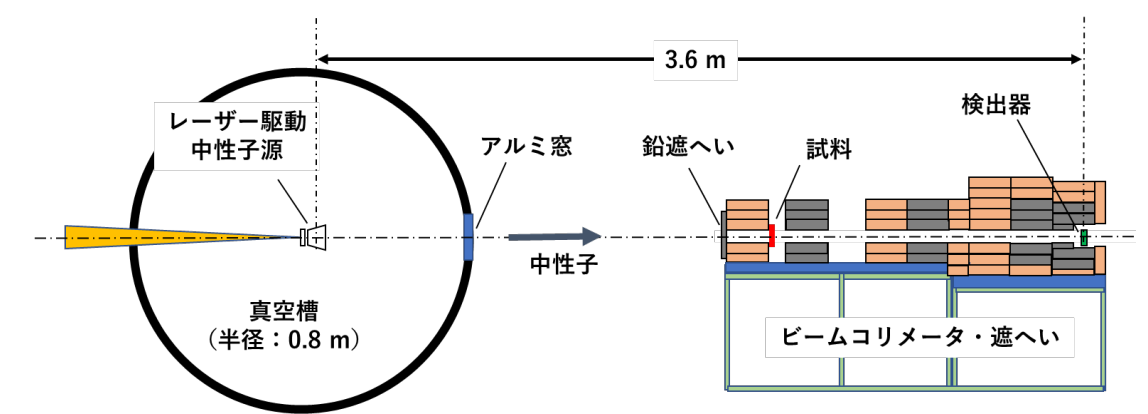
使用済み核燃料溶解液など、高線量核物質含有物中の核分裂性核種比を測定するための非破壊（NDA）測定システムをシミュレーションをベースとして設計する。シミュレーションの妥当性検証を日欧協力でを行う。



ホットセルに装着した実装型遅発ガンマ線分析非破壊測定システム (イメージ図)

(レーザー駆動中性子源を用いたNRTAシステム開発)

中性子共鳴透過（NRTA）法による核物質の高精度非破壊測定を実現するため、レーザー駆動中性子源を用いたNRTAシステムの開発を実施する。



阪大レーザー研LFEXのレーザー駆動中性子源を用いたNRTA実験概略図

第3期中長期における主な成果

核鑑識技術開発

- DOE協力
 - ✓ Pa-231/U-235比を用いた新たなウラン精製年代測定法を共同研究で開発（平成28年～令和元年）
 - ✓ 核鑑識に係る顕微鏡画像から自動的に粒子形状の解析を行う画像解析ソフトウェア独自に開発、米国ロスアラモス国立研究所（LANL）が開発した画像解析ソフトウェアとの性能比較評価において、同等の性能を有することを確認（平成29年3月～）。
- 標準物質の添加が不要で、分析時間を迅速化できる新たなウラン年代測定法をJAEAにて開発（in-situ同位体法）、欧州委員会共同研究センター（EC/JRC）との共同試料分析でその性能を確認し、ウラン精製年代測定技術の高度化に貢献。
- 国内で押収されたウランの分析に核鑑識分析技術を活用し捜査に貢献（令和元年度）。
- 国際共同分析演習や核鑑識ライブラリに関する国際机上演習に参加し、機構が高い技術レベルを有することを実証。
- カザフスタン産ウラン精鉱の国際共同試料分析やウラン精鉱標準試料の認証のための共同分析プロジェクトに参画し、国際的な核鑑識能力の向上に貢献。

核鑑識の社会実装に向けた技術開発

- 核鑑識に係る国際シンポジウムを主催し将来の研究開発の方向性を議論、研究活動に反映。
- 核テロ防止・事象発生時の対応について警察関係者との意見交換会を行い、技術開発や事象発生時の対応手順、警察からのニーズを研究開発に反映。

テロ発生後の核鑑識技術開発

- 警察等からのニーズを踏まえた核種判定技術の開発を進め、複数の安価な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や機械学習を応用した核種判定技術などを開発・実証し、テロ対策特別装備展（SEECAT2021）に出展。
- 機械学習により粒子表面のパターンから核物質の異動識別を行う技術を開発。

⇒R4年度はこれまでの技術開発を継続

第3期中長期における主な成果

アクティブ中性子NDA技術開発

- 今年度でフェーズ2終了。ワークショップを開催し成果を外部専門家が評価。

統合装置技術開発（今年度で終了）

- ダイアウェイ時間差分析（DDA）技術開発において、Pu-239を2 mgまで測定できることを確認（平成29年度）。
- 中性子線を放出する放射性物質を含む核物質試料を模擬した試験で、Cm-244で30 GBq相当を含む試料中の20 mgのPu-239が測定できることを確認（令和元年度）
- 一つのDT中性子源で、DDA、即発ガンマ線分析（PGA）及び中性子共鳴透過分析（NRTA）を行うことができる統合装置を開発（令和3年度）。

NRTA技術開発（今年度で終了）

- レーザー駆動中性子源を利用したNRTAシステムの可能性を探るため、大阪大学LFEXレーザー施設において、NRTA測定による共鳴スペクトルの取得に成功。

実装型遅発ガンマ線分析（DGA）非破壊測定システム開発

- EC/JRCイスプラ研究所（イタリア）で実験を行い、再処理施設等への適用の可能性を確認するとともに、その成果をもとにDD中性子源を用いた小型装置の設計を進めた。

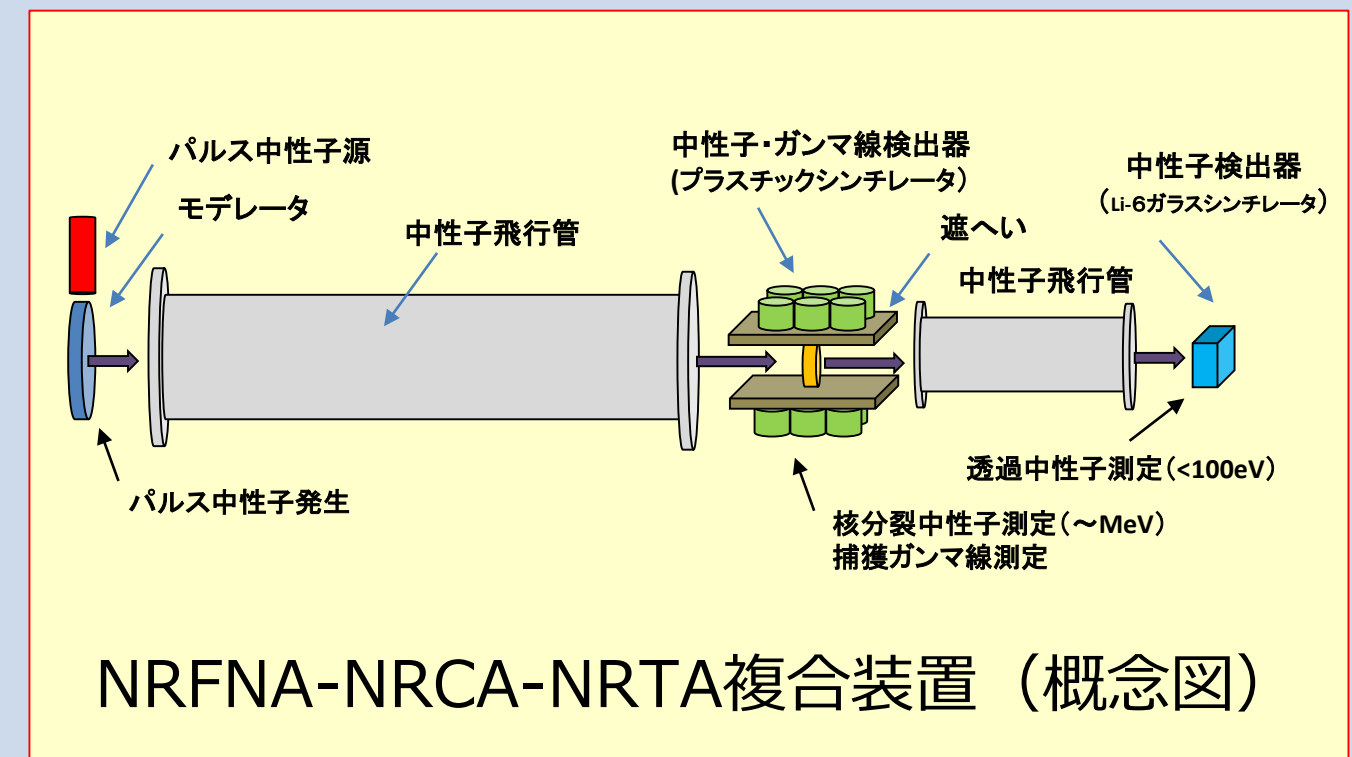
⇒R4年度はDGA技術開発（DD中性子源を用いた装置開発）を新たに開始するとともに、これまで成果を基に中性子共鳴非破壊分析技術のさらなる高度化開発を進める。

⇒R4年度より開始

中性子共鳴非破壊分析技術の開発

－試料中の少量核分裂性物質の分析能力の向上－

- ✓ 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）を開発する。
- ✓ 2022年度は、速中性子検出装置の開発、小型で設置が容易な卓上型装置の開発を開始する。
- ✓ 既存の装置を利用して、要素的な試験を行う。

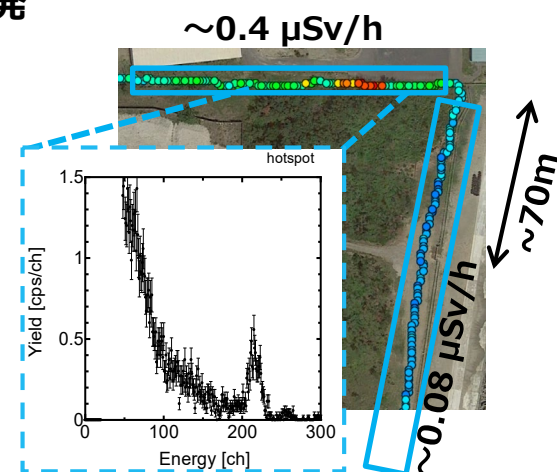


第3期中長期における主な成果

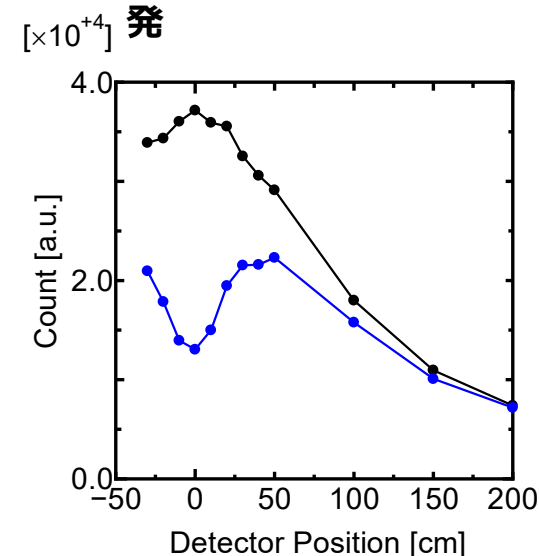
広域かつ迅速な核・放射性物質検知技術開発 (2020-)

- ドローンに搭載したガンマ線カメラや、GPSを組み合わせた放射線検出器を用いた放射性物質の探索試験を実施し、基礎データを取得。
- GPSを組み合わせた放射線検出器では、歩行速度で約0.4 $\mu\text{Sv/h}$ のCs-137のホットスポットを確認。
- 高速中性子探索技術開発として、感度に異方性のある検出器を組み合わせて線源方向を特定することができることを確認。

核・放射性物質探索技術開発



高速中性子探索技術開発

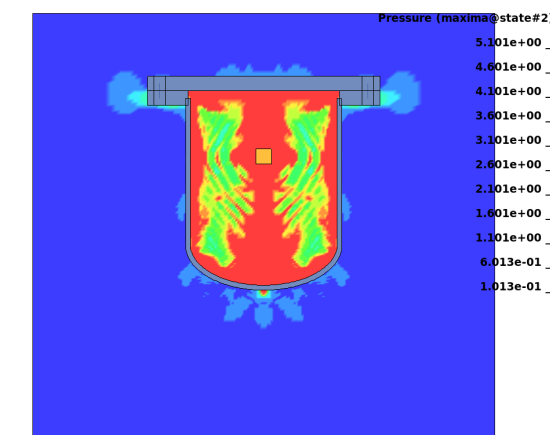
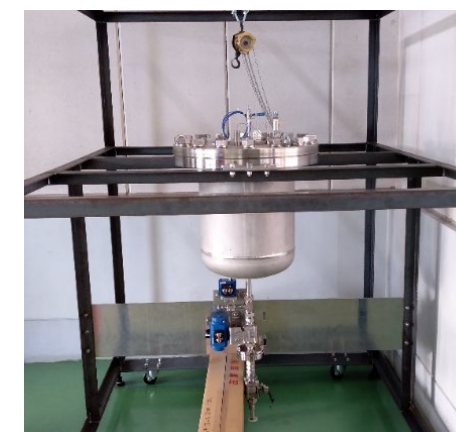


魅力度評価研究

- 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）評価に関する研究を実施（平成29年度～）。
- 定量的評価手法の検討や評価指標の分析等を実施。評価対象とする敵対者の定義、盗取及び妨害破壊行為に対する脅威分類、魅力度評価を行う放射性物質の指標を決定。
- 成果をIAEA技術会合（R3年度）で報告。
- 核・放射性物質の飛散を模擬した、爆破実験を実施。RDDに関する貴重なデータを取得。

令和2年度に実施した爆破実験*の装置(左図)および実験時の爆風圧シミュレーション(右図)

*化学爆薬を取り付けたRDDの核・放射性物質の飛散を模擬



⇒R4年度も継続して迅速な放射性物質探索のための要素的技術試験を進める

⇒R4年度は成果のとりまとめを実施予定

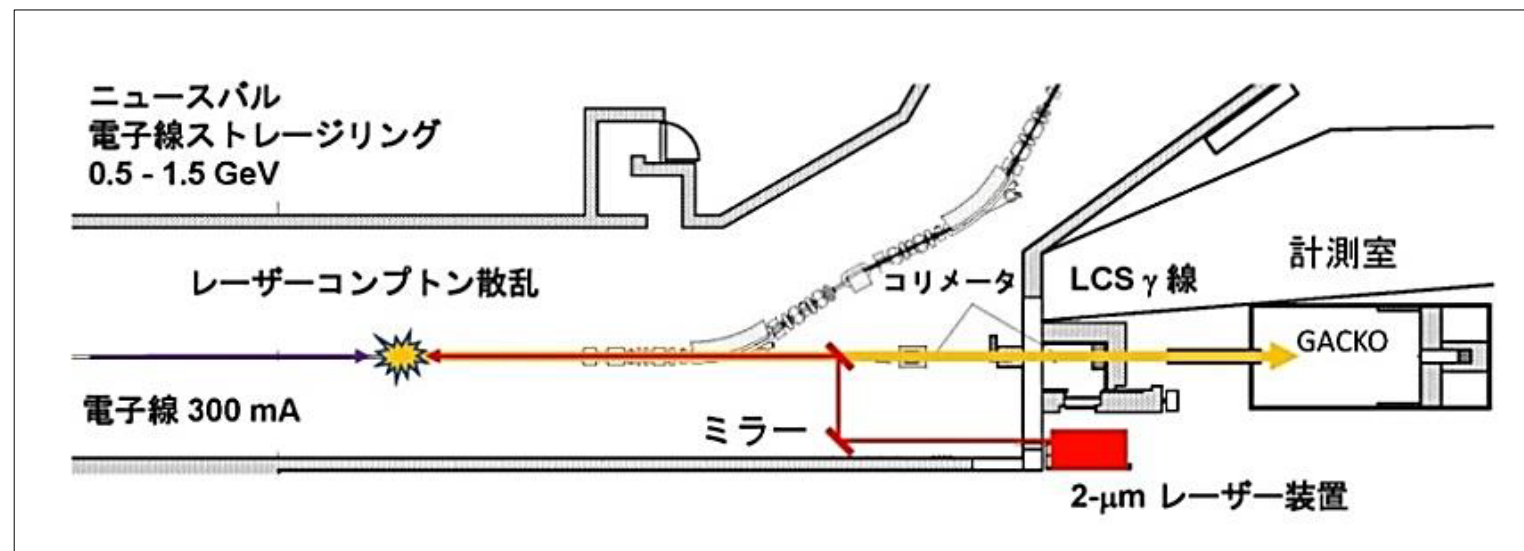
第3期中長期における主な成果

核共鳴蛍光-NDA技術実証試験（2015-2019）

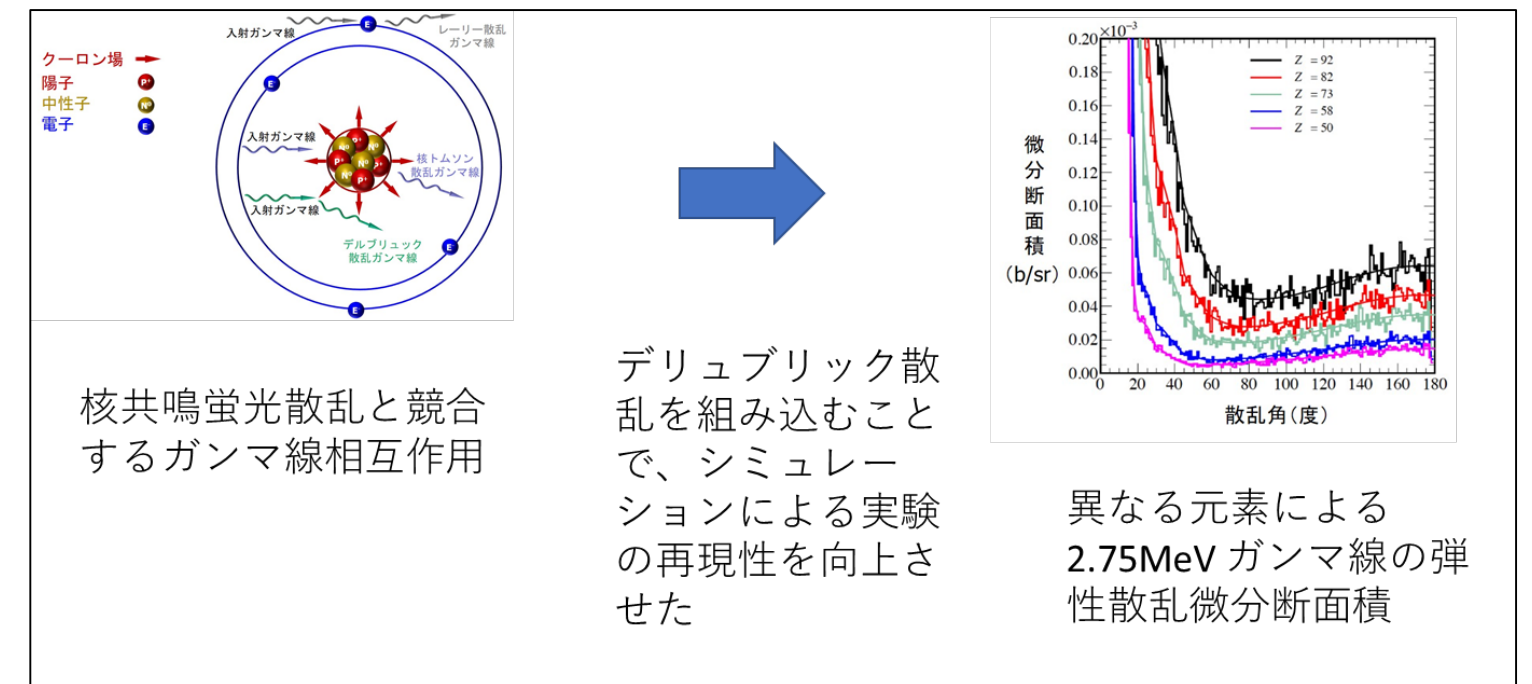
核物質の検知及び使用済燃料内核物質等の高精度NDAに寄与する技術として、核共鳴蛍光(以下「NRF」という。)による分析技術開発を国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（以下「QST」という。）及び兵庫県立大学との共同研究により実施

- 兵庫県立大学の電子線蓄積リング加速器施設「ニュースバル」にて、NRFを用いた核物質非破壊検知技術実証実験を含むワークショップを開催(令和2年1月)。重遮蔽中に隠匿された核物質の検知実証実験に成功
- 開発した光子弾性散乱効果を計算するコードがGeant-4のライブラリに組み込まれ、Geant-4*を用いた幅広い研究分野（素粒子・高エネルギー物理、原子力、原子核、天体、放射線検出器開発、粒子線治療などの分野）での計算の高精度化に貢献
- 本成果は、第1期の研究と合わせて、令和2年理事長表彰研究開発功績賞受賞

*欧州原子核研究機構（CERN）を中心とする開発グループが開発した粒子や放射線と物質の相互作用を模擬するためのシミュレーションツール



原理実証試験を兵庫県立大学 ニュースバル施設にて実施



シミュレーションツールGeant-4に開発コードが採用

⇒R4年度以降は、分子研UVSOR施設を用い、核測定のための要素的技術開発を進める

第3期中長期における主な成果

その他の技術開発

先進プルトニウムモニタリング技術開発（2015-2018）

- 高い放射能を伴うPu溶液の非破壊・継続的監視、検認技術を開発

計量・保障措置技術開発

- 限られたサンプリング点を基に対象領域全体における鉱物資源埋蔵量を推定する「クリギング」と呼ばれる統計手法を、1Fの燃料デブリに適用する技術開発を実施。
- 核燃料物質と随伴するFPのガンマ線測定による手法を開発し、シミュレーション解析や照射済燃料を用いた測定試験などを通じて熔融燃料への適用性を評価。
- 使用済燃料直接処分に関わる保障措置、核セキュリティ技術開発を実施し、IAEAやフィンランド等の先行国調査、適用可能な技術の調査、処分容器の固有性確認のために蓋溶接部の超音波探傷技術の適用性の検討、仮想施設に対する核セキュリティシステムの検討などを実施し、報告書に取りまとめた。

核拡散抵抗性技術開発

- 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の活動に参加し、国際的な貢献を行った。
- 高温ガス炉を対象とした核拡散抵抗性の解析及びその結果を基にした保障措置システムの検討を実施。

第3期中長期における主な成果

包括的核実験禁止条約（CTBT）に係る国際検証体制への貢献

CTBT国際監視制度施設の暫定運用

- CTBT国際監視制度施設（高崎、沖縄及び東海）の安定的な暫定運用を継続。
- 東海公認実験施設は、CTBTOが実施する国際技能試験に参加し最高評価（A）又は（A-）の評価を得ており、高い分析能力をもって観測所試料の依頼分析を年20件から30件実施。

放射性核種に係る検証技術開発

- CTBT国内運用体制に参画して放射性核種に係る国内データセンター（NDC-2）を暫定運用し、希ガス観測データ及び粒子観測データの解析評価を継続。
- 第3期中長期計画期間中に行われた第4回から第6回の北朝鮮による核実験では、周辺諸国の観測データの解析評価結果を適時に日本国政府等へ報告し、CTBT国内運用体制に基づく国の評価に貢献した。
- 検証技術開発の一環として、希ガス解析プログラムの改良、放出源可能性領域の絞り込みに資するプログラム開発等を実施。

CTBTOとの放射性希ガス共同観測プロジェクト（2018-）

- 幌延町とむつ市に移動型希ガス観測装置を設置し、CTBTOと希ガス共同観測プロジェクトを実施中。日本を含む東アジア地域における放射性キセノンバックグラウンド挙動の解明に資するデータを取得し、CTBTOの核実験検知能力の強化に貢献。



外観



内部

青森県むつ市JAEA大湊施設に設置した移動型希ガス観測装置

第4期中長期における技術開発の方向性

基本的には現在のプロジェクトを継続

新たなテーマ選定にあたっては

- 保障措置実施に対する新たな課題、核セキュリティの新たな脅威など、国際的な開発ニーズについて調査、分析するとともに、今後どんな社会になるかを想定して、技術開発テーマを選定
- JAEAの強みを生かした技術開発
- 引き続き、効果的・効率的に技術開発を行うために、国際的協力をベースに実施

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



出典：外務省HP