

核不拡散・核セキュリティ総合支援センターの 技術開発について

平成26年8月19日

独立行政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

現(第2期)中期計画(抜粋)

◆ 技術開発

関係行政機関の要請に基づき、保障措置、核物質防護、核セキュリティに係る検討・支援や技術開発を実施する。また、原子力事業者として将来の保障措置や核拡散抵抗性向上に資する基盤技術開発を行う。

日米合意に基づき、核物質の測定・検知技術開発等を行う。

◆ CTBT・非核化支援

包括的核実験禁止条約(CTBT)に係る検証技術開発を継続する。

関係行政機関の要請に基づき、国際監視観測所及び公認実験施設の着実な運用を行うとともに、核実験監視のための国内データセンターの運用を実施する。



次期中期計画(検討中)

【技術開発】

将来の保障措置や核拡散抵抗性向上に資する基盤技術開発を行う。また、核セキュリティサミットで日本国政府として表明している核物質の測定・検知及び核鑑識の技術開発を行う。これらの技術開発を行うに当たっては、IAEA、米国や欧州等と協力して推進する。

【CTBTO支援】

国及び包括的核実験禁止条約機関(CTBTO)準備委員会への支援を通じた国際検証体制への貢献を行うために、放射性核種に係る監視施設の暫定運用を継続する。

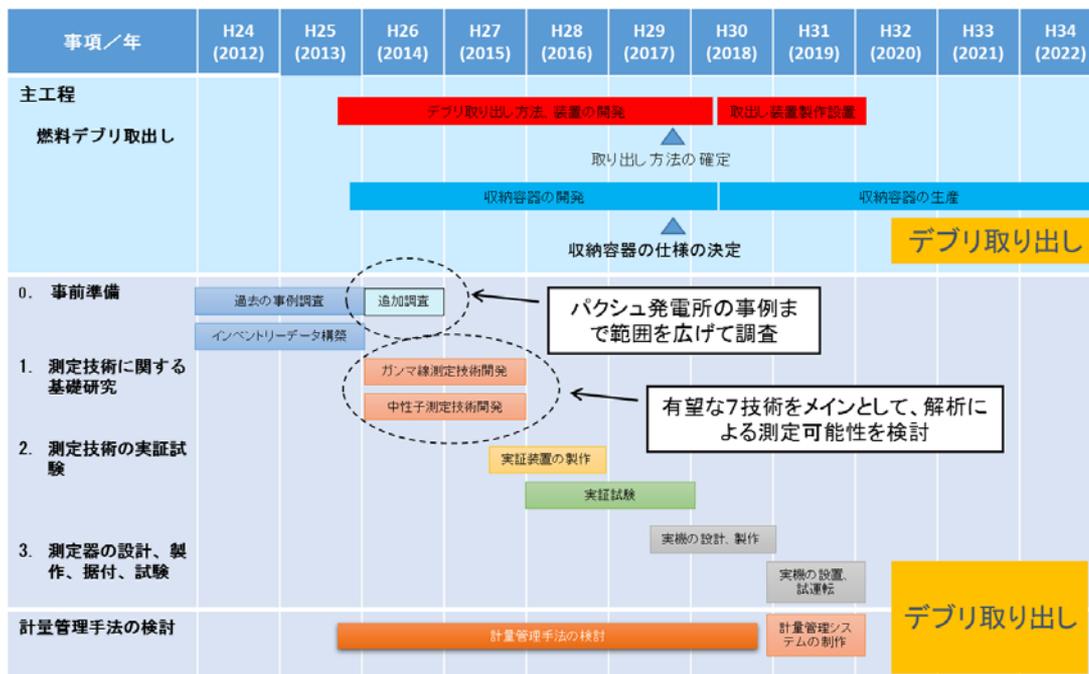
1.核不拡散技術開発

1.1 福島第一原子力発電所(1F)燃料デブリ計量管理技術開発

1F事故における溶融炉心燃料物質に含まれる核物質の計量管理に資するため、当該核物質量を計量する技術を開発

燃料デブリ取り出し開始(初号機:2020年予定)に合わせ、溶融炉心燃料物質に含まれる核物質量を計量する方策を確立させる。

ISCNは、核物質に随伴するFPから放出されるガンマ線を測定することによって核物質量を定量する技術開発を担当。また、福島研究開発部門を支援し、本プロジェクトに関する対外対応及び技術開発実施担当部署との調整を実施



これまでの実施内容

- TMI-2、チェルノブイリ事故での核物質管理に関する調査を実施し、福島への教訓を整理
- 適用性評価のための候補技術の基礎的データの取得
- 福島に適用可能な候補技術の絞り込み



次ステップ

- 絞り込んだ技術の解析による測定可能性評価
- 実証試験に移行する技術の絞り込み

1.核不拡散技術開発

1.2 使用済燃料直接処分に関わる保障措置技術開発

高レベル放射性廃棄物の処分方法について、幅広い選択肢を確保する観点から、ガラス固化体処分の代替オプションとして使用済燃料の直接処分の技術開発を実施。その一環として、処分施設に保障措置の適用性を考慮した施設設計に資するため、使用済燃料直接処分施設に適用される保障措置技術を開発 注)資源エネルギー庁委託事業「地層処分技術調査等事業(使用済燃料直接処分技術開発)」

- ガラス固化体は、IAEAの検認後「測定済廃棄物」となるため保障措置の対象外
- 使用済燃料の直接処分については、処分場の操業中はもとより、処分場の埋め戻し後においても「保障措置の対象とする」のがIAEAの見解
- 使用済燃料の処分施設の設計段階において考慮しておくことが必要になると考えられる様々な事項や要件の一つとして保障措置に対する方策を検討

昨年度の実施内容

- 直接処分にかかるIAEAの保障措置の検討経緯と要件整理
- フィンランドやスウェーデン等の諸外国の検討内容整理
- IAEAの地層処分施設保障措置検討専門家グループに参画

今年度の実施内容

- 直接処分に係る保障措置・核セキュリティ対策に適用可能な技術の調査
 - 調査した技術に対して、処分施設への適用性を評価し、技術開発課題を整理
- 保障措置システムの予備検討
 - 仮想処分施設に対し、施設配置や核物質フローを踏まえ、IAEAが検討している保障措置要件を充足するためのシステム要件(どのような機器をどのポイントに設置するか)を検討

1.核不拡散技術開発

1.4 次世代原子カシステムの核拡散抵抗性技術と評価手法開発

原子力の平和利用を進めるため、次世代原子カシステムにおいては、核拡散抵抗性を備えた施設設計が重要

エネルギー基本計画より抜粋

核不拡散分野においては、核燃料の核拡散抵抗性の向上や、保障措置技術や核鑑識・検知の強化等の分野における研究開発において国際協力を進め、核不拡散の取組を強化していくことが重要である。

GIF(第IV世代原子カシステム国際フォーラム)核拡散抵抗性・核物質防護(PRPP)WG等*において検討されている核拡散抵抗性評価手法に関する議論に積極的に参画し、貢献する。

*:IAEA/INPRO-PROSAグループに参加し、INPRO-抵抗性マニュアルの簡素化とともに核拡散抵抗性ガイダンスの見直しを実施。

- 課題と方向性
 - 低除染燃料、Pu同位体効果利用等の抵抗性の高いシステム追求。
 - 設計段階で保障措置要件を考慮 (Safeguards by design: SBD)、先進保障措置技術開発
- 今後の検討
 - GIF及びINPROに参画し核拡散抵抗性評価手法の検討
 - 開発された評価手法を用いて、高速炉及び燃料サイクルシステムに保障措置を設計段階から組み込むことで核拡散抵抗性がどのように向上するかを評価する適用性研究

核拡散抵抗性(Proliferation Resistance)

国家が核兵器や他の核爆発装置を獲得することを目的とした核物質の転用や未申告生産、技術のミスユース(不正使用)を防ぐための特性。将来の原子カシステムが核兵器計画のための材料獲得には非魅力的なものであり続けることを確実にすること。拡散抵抗性の程度は、技術的設計特性、運転形式、制度的取り決め、保障措置の組み合わせで決まる。(IAEA-STR-332)

2. 核鑑識技術開発

第一回核セキュリティサミットでのナショナルステートメント*に基づき、核鑑識に必要な高精度の分析装置の整備、年代測定技術、データベース構築に向けた評価技術の基礎を確立

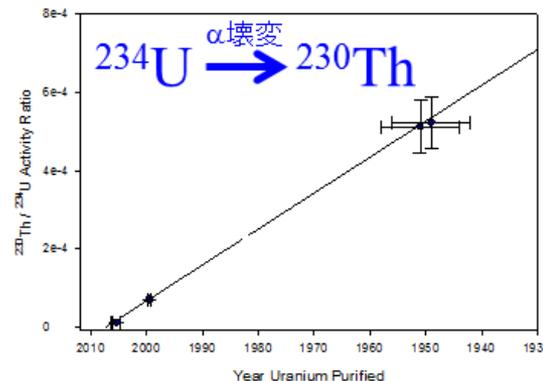
*: 核物質計量管理の高度化に資する測定技術や不正取引等された核物質の起源の特定に資する核検知・核鑑識技術の開発に関し、日米で研究協力を実施。今後、3年後を目途に、より正確で厳格な核物質の検知・鑑識技術を確立し、国際社会と共有することにより、国際社会に対して一層貢献。

核鑑識とは

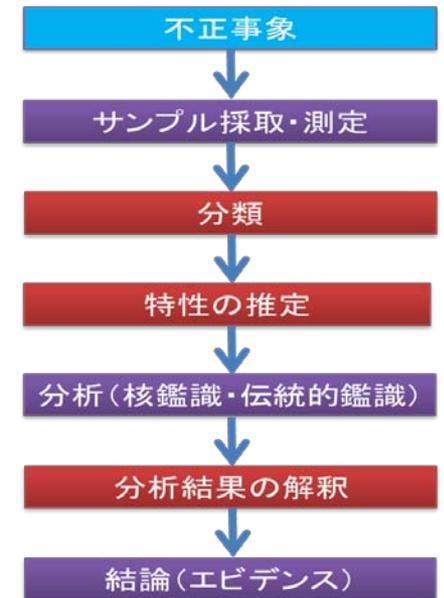
核鑑識とは、捜査当局によって押収、採取された核物質について、核物質、放射性物質及び関連する物質の組成、物理・化学的形態等を分析し、その物品の出所、履歴、輸送経路、目的等を分析・解析する技術的手段

技術開発の項目

- ✓ 核物質の同位体組成及びその核物質に含まれる不純物を測定する技術
- ✓ 粒子の形状を電子顕微鏡撮影して画像データとする技術
- ✓ ウランやプルトニウムの年代測定技術開発
- ✓ 核鑑識データベースの構築に向けた属性評価技術などの開発



^{230}Th と ^{234}U の比によるウランの精製時期の特定



核鑑識と伝統的鑑識のプロセス

2. 核鑑識技術開発

(H23～H25年度) 核鑑識に係る基本的技術の開発

- ・ 同位体分析技術、不純物測定技術、粒子形状測定技術、ウラン等年代測定技術
- ・ 核鑑識ライブラリのプロトタイプ開発
- ・ 核鑑識技術開発に係る国際協力

成果の発信

核鑑識技術の高度化



透過型電子顕微鏡装 (TEM)

(H26～H27年度の技術開発項目)

プロトタイプ核鑑識ライブラリの高度化

- ・ 核物質の属性評価手法の高度化
- ・ 放射性物質の核鑑識ライブラリの開発

核鑑識分析技術の高度化

- ・ TEMを用いた高度な核鑑識分析法の開発
- ・ 新年代測定法の開発及び実試料による確証分析

JAEA取扱核物質のデータベース化

核鑑識技術開発に係る国際協力

- ・ GICNT, ITWG, IAEA, INMMなどの会合参加
- ・ 国際比較試験、国際共同研究(米国、EU)

その他検討課題: 核鑑識の国家レベルでの対応体制の必要性

不正事象発生時には、初動捜査および迅速かつ詳細な核鑑識分析(核物質分析のみでなく、従来からの、指紋、DNAなど一般鑑識分析を含む)が必要となるため、これらの技術開発成果を利用した核鑑識ラボラトリー(仮称)などによる国家レベルでの対応体制を構築することが重要。

3. 核物質の検知・測定技術開発

第一回核セキュリティサミットのナショナルステートメントに基づき、核セキュリティ分野(主に核物質の検知)及び保障措置(核物質の定量測定)のどちらにも使える先進非破壊測定(NDA: Non-Destructive Assay)技術を開発

ハーグでの核セキュリティサミットにおける総理のステートメント

「日本原子力研究開発機構(JAEA)などにおいて、核鑑識や核検知といった最新技術に関する研究開発を、より一層推進します。」



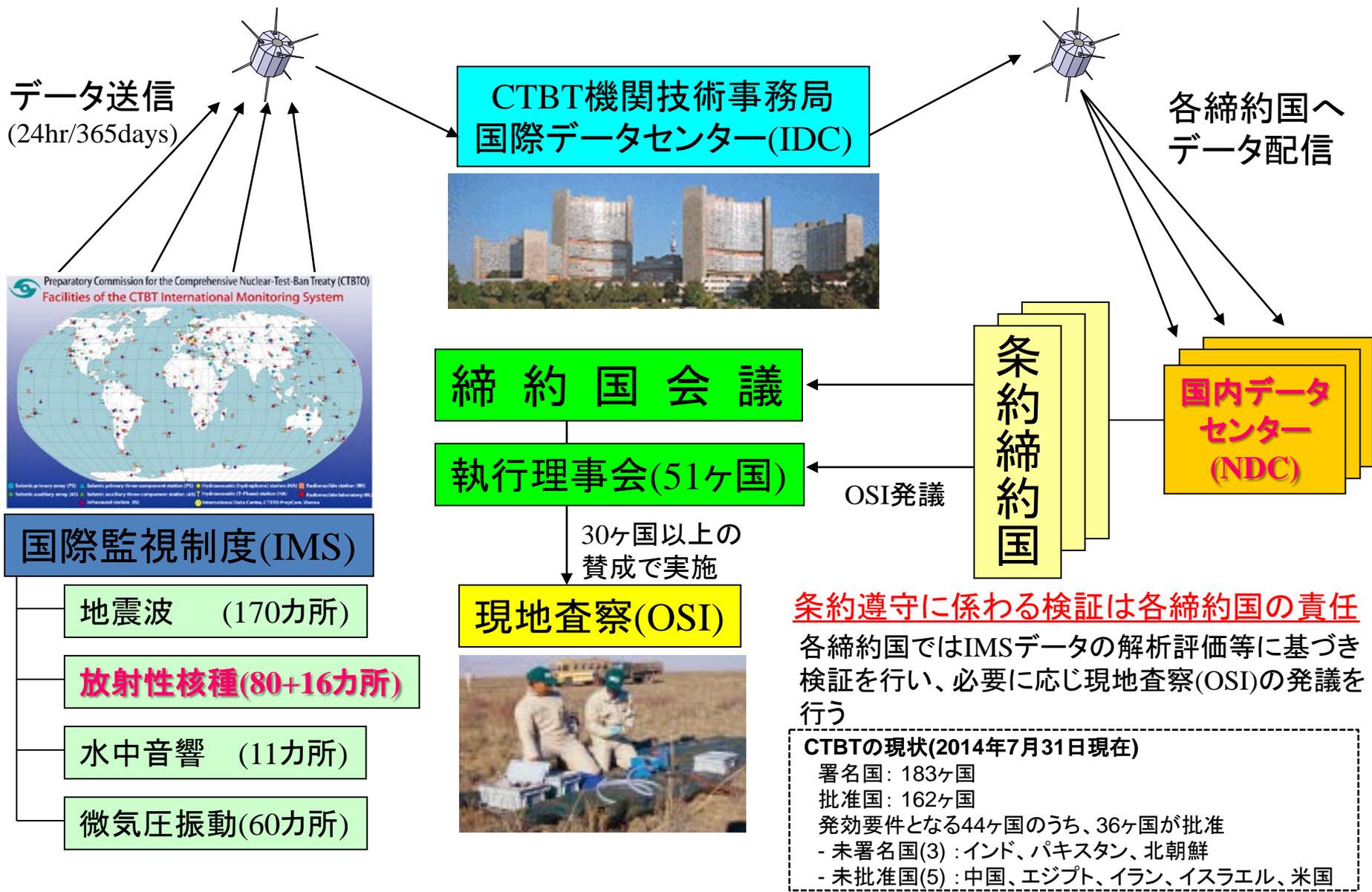
日本の最先端技術等もベースに開発を行いながら国際協力も行いつつ実施

実施中の技術開発

技術開発項目	目的等
レーザー・コンプトン散乱ガンマ線非破壊測定技術基礎開発(大強度単色ガンマ線源基礎実証)	海上貨物コンテナ内で厚い遮へい体で覆われた核物質の確実な検知、使用済燃料中の核物質の定量測定、燃料要素採取検認、溶融燃料デブリ中核物質量の非破壊定量測定
ヘリウム3代替中性子検出技術開発	世界的な供給不足にあるHe-3ガスを使う汎用中性子検出器に代わる(ZnS/ ¹⁰ B ₂ O ₃ セラミックシンチレータによる)高効率中性子検出器の開発と、それを使う保障措置NDA装置の開発実証
中性子共鳴濃度分析法技術開発	粒子状の溶融燃料デブリ、核燃料サイクルでの(固体)保障措置サンプル中の核物質量を同位体毎に定量的に測定するNDA技術の基礎開発

4. CTBT・非核化支援

4.1 CTBT国際検証体制のしくみ



4. CTBT・非核化支援

4.2 CTBT国際検証体制へのJAEAの貢献

希ガス・粒子観測所の運用機関として我が国のCTBT国内運用体制*を維持するため、基盤技術や高度化の研究開発

*:(公財)日本国際問題研究所軍縮・不拡散促進センターを事務局とし、日本気象協会、及びJAEA がそれぞれ担当する国内データセンター・IMS監視施設の施設運用者により構成



沖縄観測所(RN37)
 認証:2007年2月22日
 放射性粒子の計測

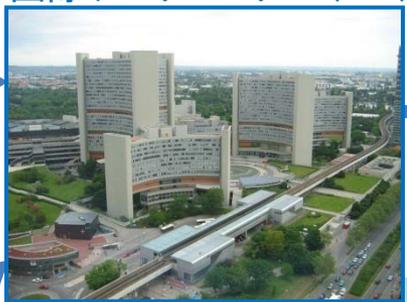


高崎観測所(RN38)
 認証:2004年2月6日
 放射性粒子/希ガスの計測



原子力機構のミッション

CTBT機関 技術事務局
 国際データセンター (IDC)



国間研受託

データ/報告



国内データセンター (NDC)
 暫定運用:2009年4月から
 世界中からの観測所データ受信
 データ解析・評価
 解析ソフトウェアの開発
 データベース構築

CTBTO受託
 分析結果報告



東海公認実験施設(RL11)
 認証:2006年11月16日
 試料の詳細分析

試料

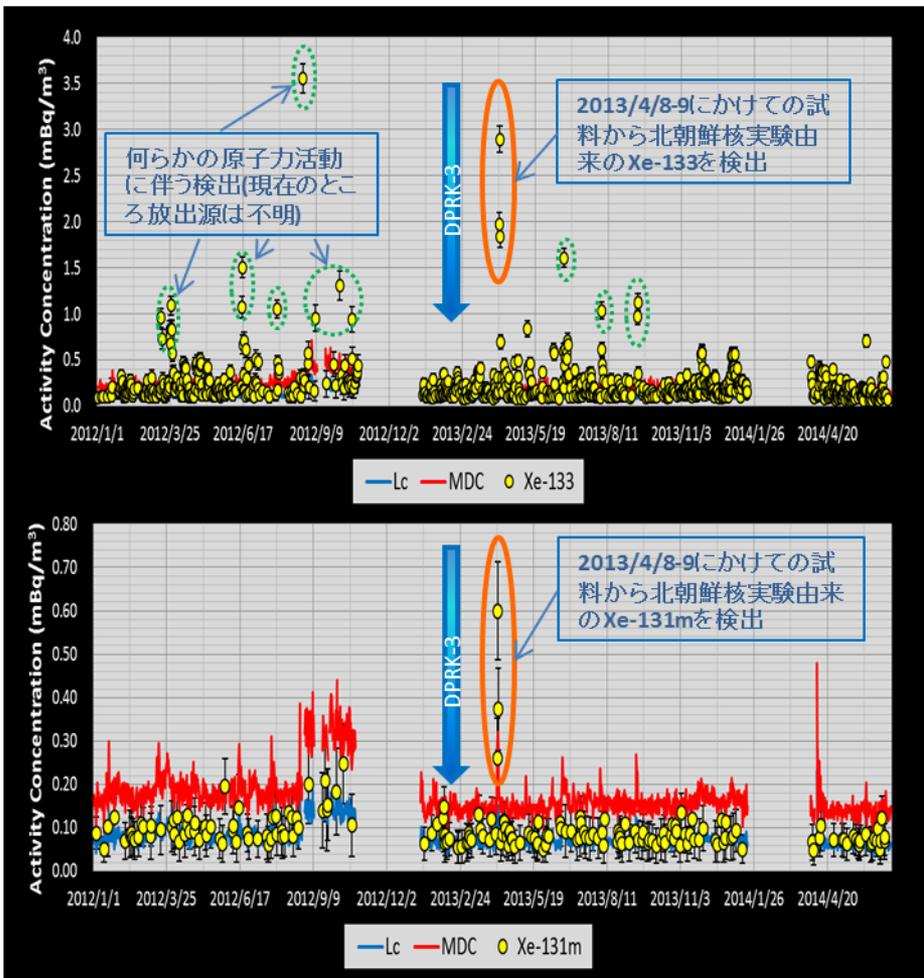


世界中の放射性核種監視観測所
 粒子:61ヶ所、希ガス:30ヶ所
 (2012年 3月現在)

4. CTBT・非核化支援

4.3 CTBT検証技術の成果

高崎観測所での北朝鮮核実験由来の放射性核種の検出(2013.4)

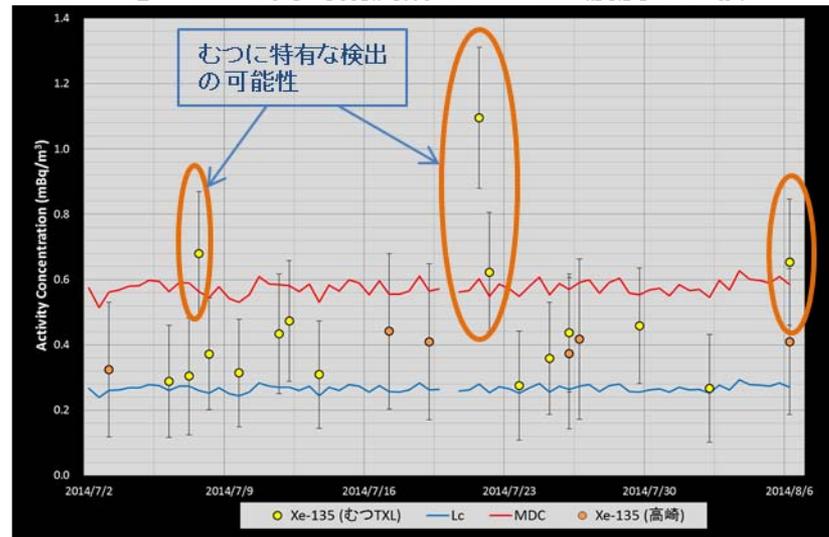


むつ市における大気中放射性キセノンのグローバルバックグラウンド調査(2014.7-10予定)

協力機関:CTBT機関、(公財)日本分析センターむつ分析科学研究所



むつTXLと高崎観測所とのXe-135濃度の比較



Lc: 検出限界、MDC: 最小検出可能放射能濃度

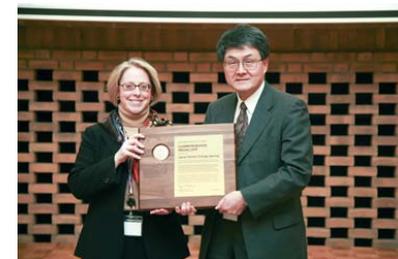
5. 国際協力

5.1 米国との核不拡散・保障措置分野の研究開発協力

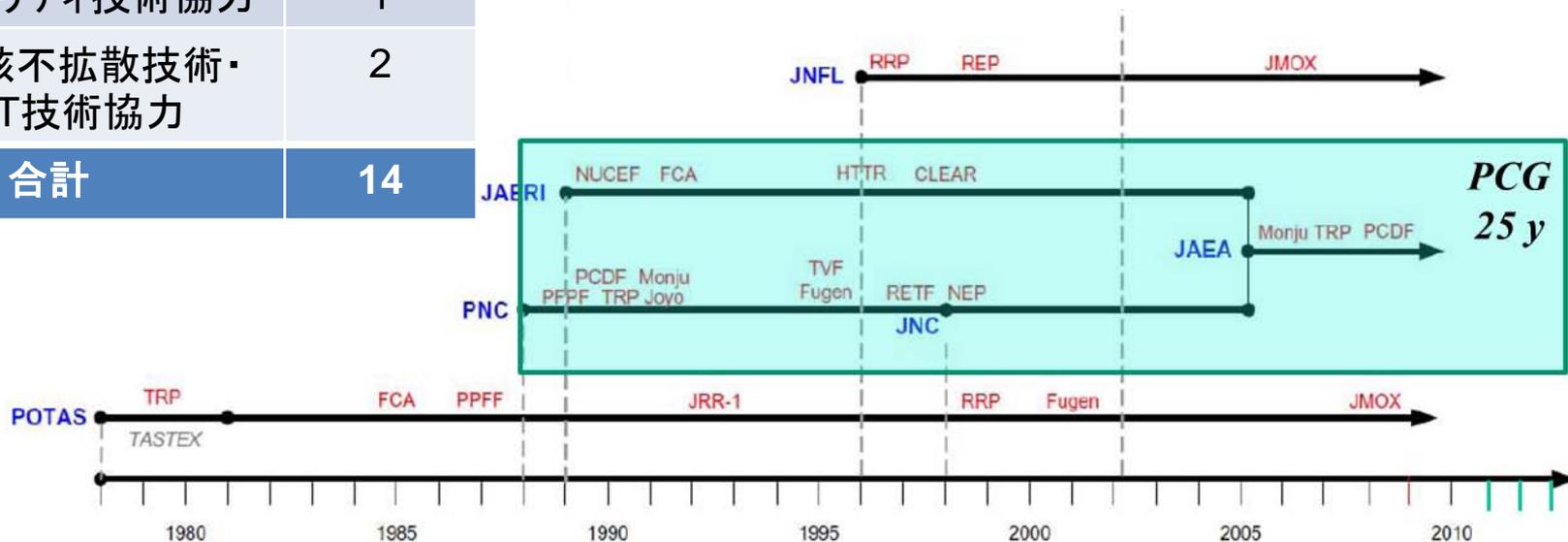
1988年に公式に取決めを締結してから米国エネルギー省(DOE)国家核安全保障庁(NNSA)との保障措置・核不拡散及び核セキュリティ分野における協力について、約130の技術開発協力プロジェクトを実施

実施中の協力プロジェクト(2014年7月現在)

協力分野	件数
保障措置技術協力	9
核鑑識技術協力	2
核セキュリティ技術協力	1
その他核不拡散技術・CTBT技術協力	2
合計	14



米国DOEポネマン副長官からJAEA-DOE/NNSA協力25周年を記念する楯を受領



5. 国際協力

5.2 欧州委員会 共同研究センター (EC/JRC) との協力

1990年に日本原子力研究所と、欧州原子力共同体 (EURATOM) 間で、核物質の保障措置の研究及び開発に関する取決めを締結。JAEA発足後、2011年に協力分野の見直しを行い、更に5年間の延長を行うことに合意

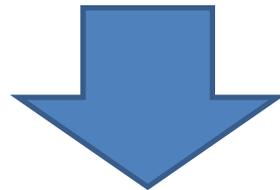
協力分野:

1. 保障措置及び核不拡散に係るR&D: 保障措置技術開発、環境試料分析技術開発など
2. 放射性物質及び核物質の不正取引に関するR&D: 核検知、核鑑識技術開発など
3. 保障措置、核セキュリティ及び核不拡散に関する人材育成: カリキュラム開発、講師相互派遣、第3国への共同アウトリーチなど

現在、核検知技術、核鑑識、保障措置及び核セキュリティに関する人材育成4件の研究協力を実施中

6. まとめ

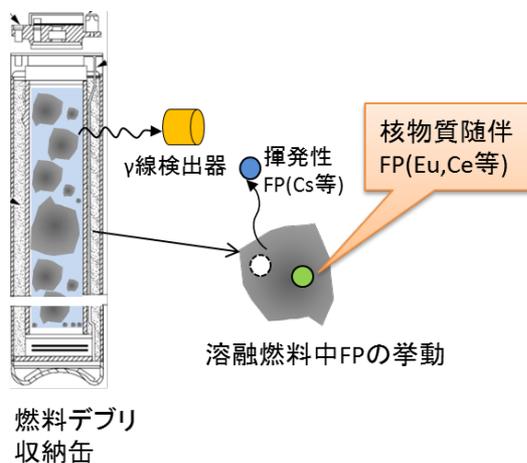
1. IAEA等国際機関や各国の核不拡散・核セキュリティ分野で活用される技術の開発（ニーズに合致した研究開発、将来を見据えた技術開発の推進）
2. 我が国の原子力平和利用の円滑な推進に資する技術の開発（福島第一発電所の計量管理・保障措置において実際に適用できる技術開発の推進）
3. 核セキュリティサミットで日本国政府として表明している核物質の測定・検知及び核鑑識の技術の開発（核セキュリティ強化技術の実現化）
4. 包括的核実験禁止条約（CTBT）に係る検証技術の開発・CTBT体制確立への支援



国内外の関係機関と協力して推進

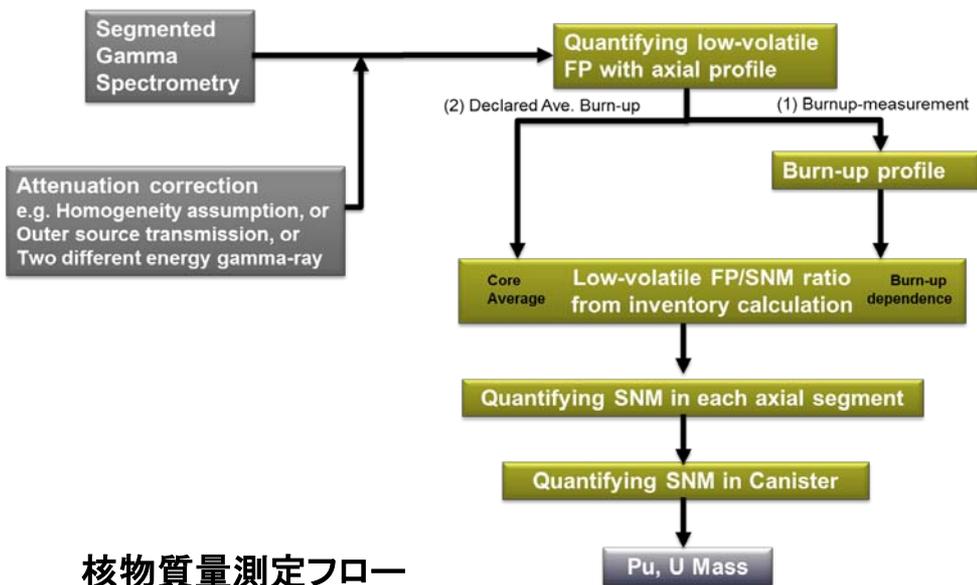
參考資料

過酷事故の燃料溶融過程でも揮発性が小さく、燃料デブリ内で核物質と随伴するFP核種より放出される高エネルギーγ線を測定し、燃焼計算により求めたFP/燃料比と組み合わせ、間接的にU、Pu量を推定

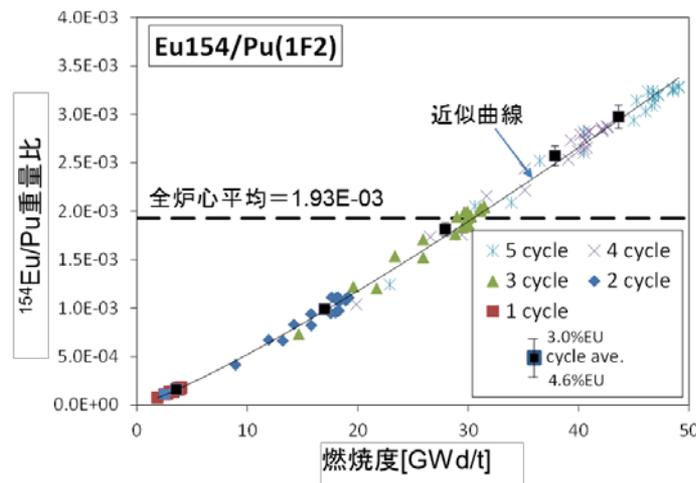


長所

1. 高エネルギーのγ線は透過性が高く水の多い環境 (SFプール内等) においても影響を受けにくい
2. 収納缶の設計 (材質、中性子吸収材の有無等) に順応性がある
3. 技術の成熟度が高い
4. TMIデブリの核物質質量測定に適用実績

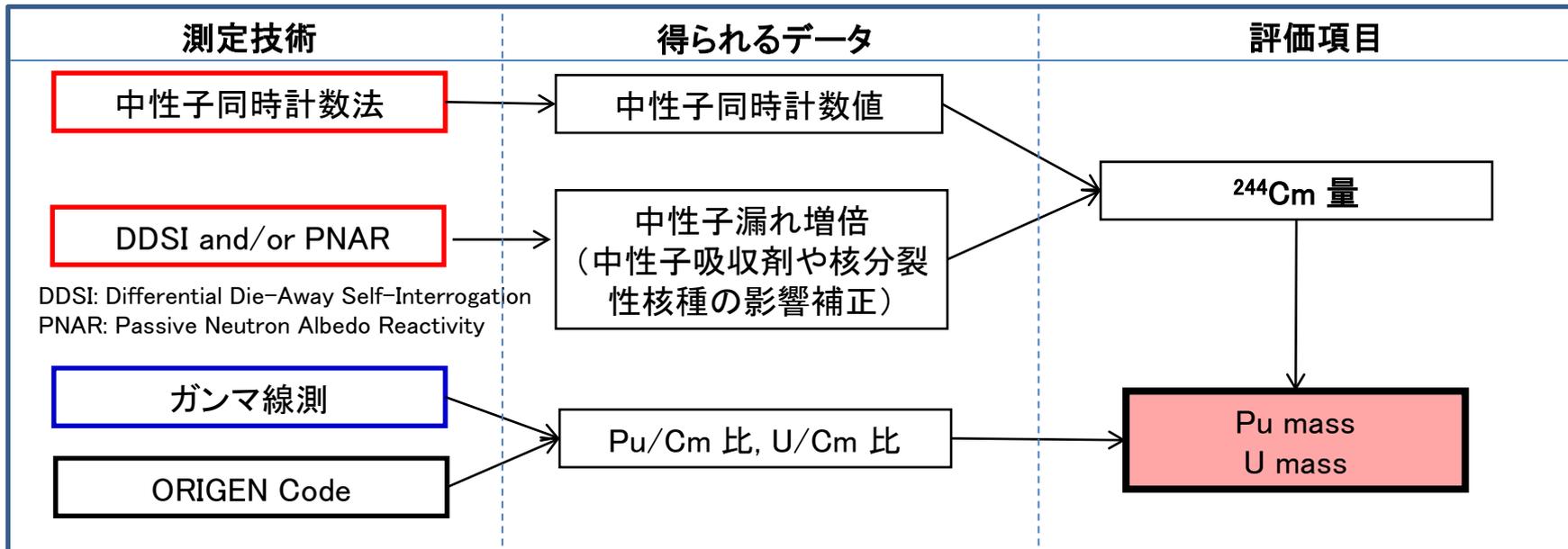


核物質質量測定フロー



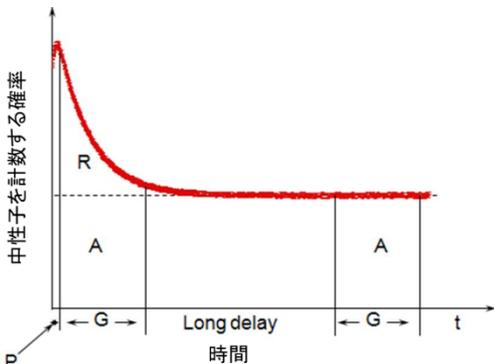
Eu-154量とPu量との相関(1F2の例)

1F計量管理技術開発例 (パッシブ中性子法、実施担当：プル燃センター)



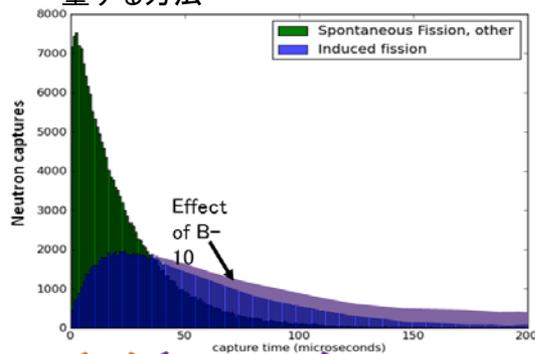
中性子同時計数法の概念

核分裂から放出される同時性のある中性子を計数し、自発核分裂性核種を定量する方法



DDSIの概念

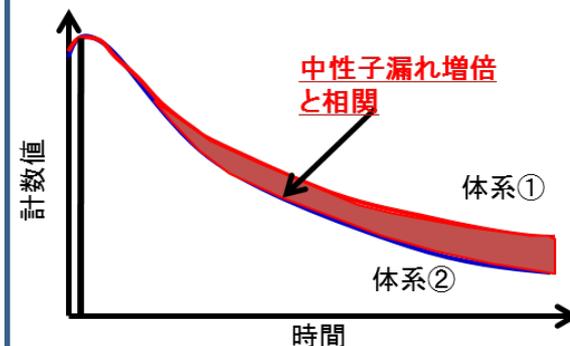
検出された中性子の時間分布を評価することにより、中性子漏れ増倍を定量する方法



早いゲート 主に自発核分裂性中性子を計数
遅いゲート 主に誘発核分裂中性子を計数 吸収効果の影響大
→ 中性子漏れ増倍と相関

PNARの概念

中性子反射条件の異なる環境で同一の試料を測定し、得られる中性子計数値の差異を評価することにより、中性子漏れ増倍を定量する方法



核物質の検知・測定技術開発例：（レーザー・コンプトン散乱ガンマ線利用）核共鳴蛍光による非破壊測定技術開発

【量子ビーム応用研究センター】

○核共鳴蛍光シミュレーションコード開発検証(JAEA/ USDOE共同研究)

開発シミュレーションコード: NRF-GEANT4 (JAEA)、MCNPX改良 (LANL/LBNL/ORNL)

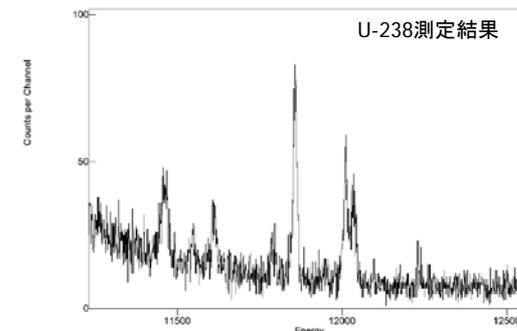
概要

- ・エネルギー可変大強度単色ガンマ線（レーザー・コンプトン散乱(LCS)ガンマ線）照射による核共鳴蛍光反応を利用し、これまでの技術では困難とされてきた対象（例えば、厚い遮へい体中の核物質、使用済燃料中の核物質）の検知、定量測定を非破壊で行う技術の基礎を確立する。

期待される成果

（以下の適用可能検知・測定の基本技術確立）

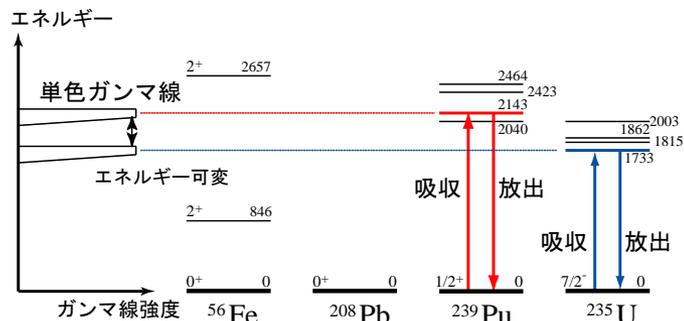
- ・厚い遮へい体で覆われた核物質の確実な検知
- ・使用済燃料中の燃料ピン抜取の検知



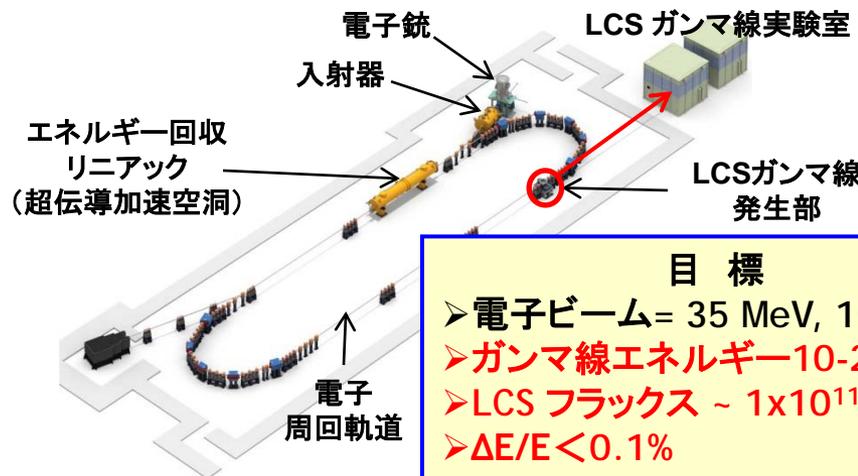
核物質が取り扱えるDuke大学(米)のHIGS施設で核物質同位体(U-238等)の核共鳴蛍光散乱を測定(それをシミュレーションコードのベンチマークとして使用)(HIGS: High Intensity Gamma-ray Source)

○大強度単色ガンマ線発生実証試験(JAEA/ KEK共同研究、設置:KEKつくば)

エネルギー可変大強度単色ガンマ線照射核共鳴蛍光反応



Pu-239に固有の励起エネルギーに合わせたガンマ線を入射すると、Pu-239のみが選択的にそのガンマ線を吸収し、同じエネルギーのガンマ線を放出する(核共鳴蛍光反応)。



目標

- 電子ビーム = 35 MeV, 10 mA
- ガンマ線エネルギー 10-20 keV
- LCS フラックス ~ 1×10^{11} ph/s
- $\Delta E/E < 0.1\%$

大強度単色ガンマ線発生実証試験設備(現在製作中:一部運転中)

核物質の検知・測定技術開発例：He-3代替中性子検出器技術開発

概要

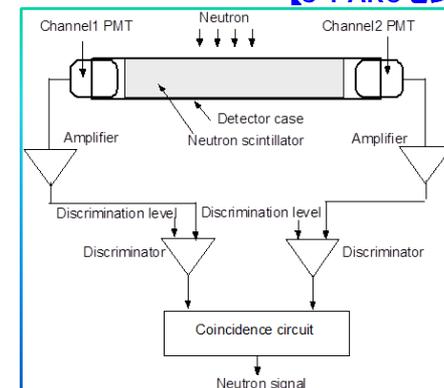
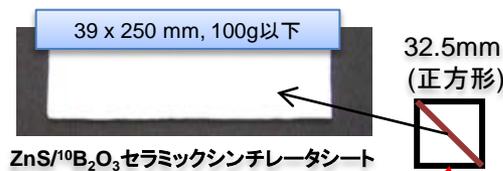
・世界的な供給不足にあるHe-3を使う汎用中性子検出器に代わる(ZnS/¹⁰B₂O₃セラミックシンチレータによる)高効率中性子検出器の開発とそれを使う保障措置非破壊測定(NDA)装置の開発実証。

期待される成果

・従来の汎用的He-3中性子検出器に代わる高効率中性子検出器の開発により、核不拡散(IAEA保障措置等)、核セキュリティ分野における日本の貢献度をより高めることができる。

○ZnS/¹⁰B₂O₃セラミックシンチレータ中性子検出器ユニット開発

【J-PARCセンター】



ZnS/¹⁰B₂O₃セラミックシンチレータ検出器ユニット回路系

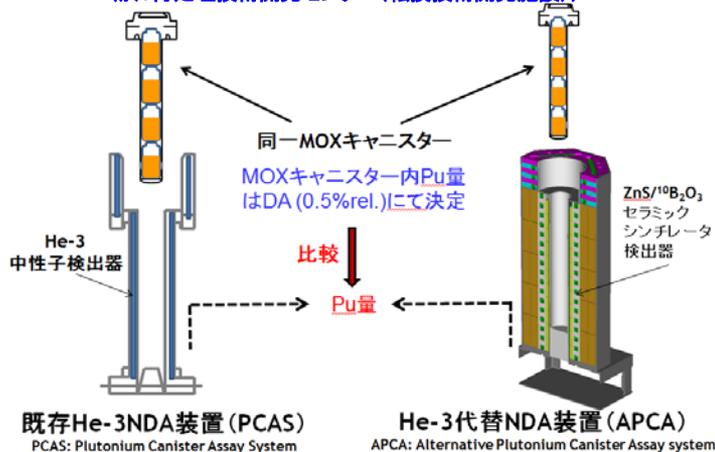
○ ZnS/¹⁰B₂O₃セラミックシンチレータ中性子検出器ユニットを使うNDA装置開発

【原子力基礎工学研究部門】

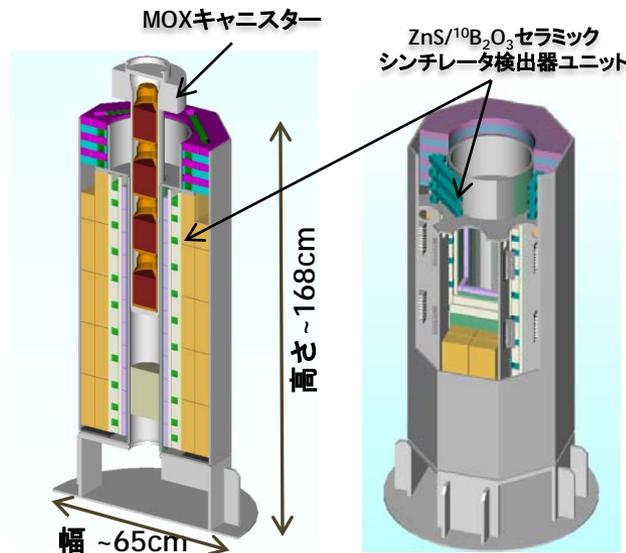
○既存の(IAEA使用)He-3NDA装置との比較実証試験

【原子力基礎工学研究部門・再処理技術開発センター】

(於:再処理技術開発センター(転換技術開発施設))



(NDA装置については、より小型のものも検討中)



(NDA装置検出器部)



(NDA装置データ収集系)

技術実証NDA装置の設計・開発

核物質の検知・測定技術開発例：中性子共鳴濃度分析法技術開発

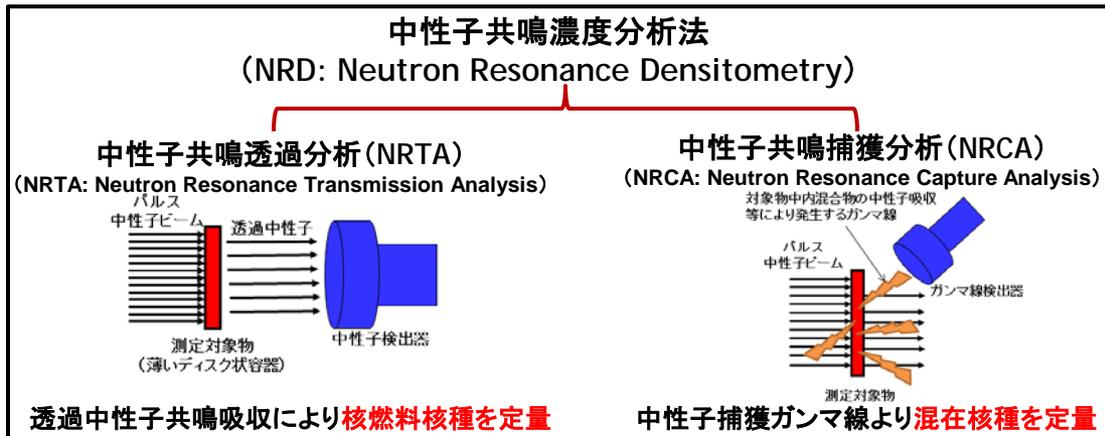
【JAEA原子力基礎工学研究センター】

概要

・原子炉過酷事故で発生した溶融燃料デブリ(粒子状デブリ:核燃料と構造材の溶融混合物)あるいは核燃料サイクルでの(固体)保障措置サンプル中の核物質量を同位体毎に定量的に測定する非破壊測定(NDA)技術の基礎を確立する。この開発では、パルス中性子源による透過中性子の共鳴解析(中性子共鳴透過分析法;核燃料核種の定量)をベースに、中性子共鳴捕獲分析法(混在核種を定量)を組み合わせた中性子共鳴濃度分析法によるNDA技術をJRC-IRMMと共同で開発する。

期待される成果

・溶融燃料冷却時等に発生する粒子状溶融燃料デブリ中の核物質(各同位体)量の測定



○NRCAの測定精度評価検討 (JAEA/JRC-IRMM共同研究)

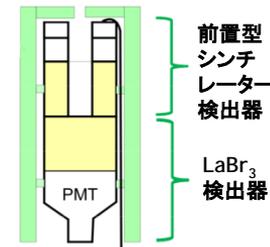
精度評価
解析コード開発

- 1 粒子径の影響評価
- 2 サンプル厚さの影響評価
- 3 混合物質の影響評価
- 4 サンプル温度影響評価
- 5 検出システムの研究
- 6 共鳴解析コードの適用技術開発

○新型NRCA用ガンマ線検出器の開発 (JAEA)

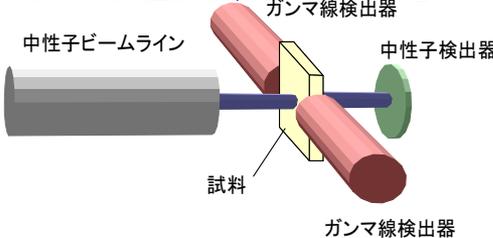
極めて強い放射線場(^{137}Cs ($\sim 10^8$ Bq/g))での中性子捕獲反応からの即発ガンマ線計測技術

NRCA用ガンマ線スペクトロメータ開発
【 ^{137}Cs ガンマ線によるコンプトン端低減化】



○実証試験: JRC-IRMM(GELINA)、ベルギー

以下の実証試験装置(概念図)をGELINAのビームラインに設置



NRDデモンストレーション実施場所
No. 13, F.P.=10m

