

# 核不拡散・核セキュリティ作業部会の 議論を踏まえた今後の技術開発の方向性



2017年9月12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

平成29年度第1回核不拡散科学技術フォーラム

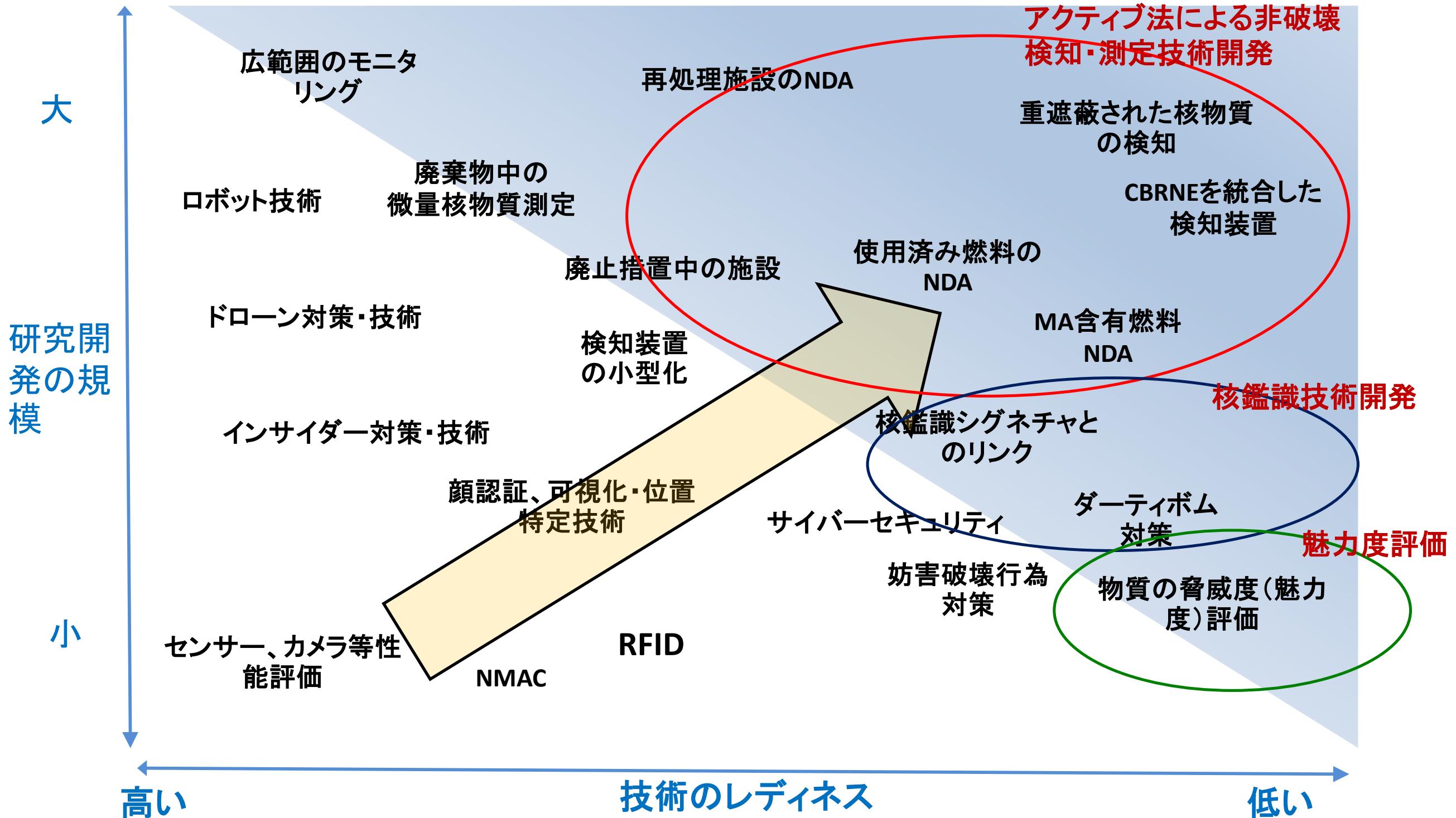
# ISCNの核不拡散・核セキュリティ技術開発

- 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。
- 文科省核セキュリティ作業部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。
- 核セキュリティサミット終了後(2016年以降)の技術開発課題については、核セキュリティ作業部会で議論が行われている俯瞰図に基づいて、H30(2018)年度以降の技術開発予算要求を実施。

## 技術開発の基本的な考え方

- 原子力機構の持つ施設、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、国際協力のパートナーであるDOE/NNSA、EC/JRCの意向を踏まえ、基本的に国際共同研究で進める。

# 核不拡散・核セキュリティの課題とニーズ (核セキュリティ作業部会の議論を図解)



# アクティブ法による非破壊検知・測定技術開発

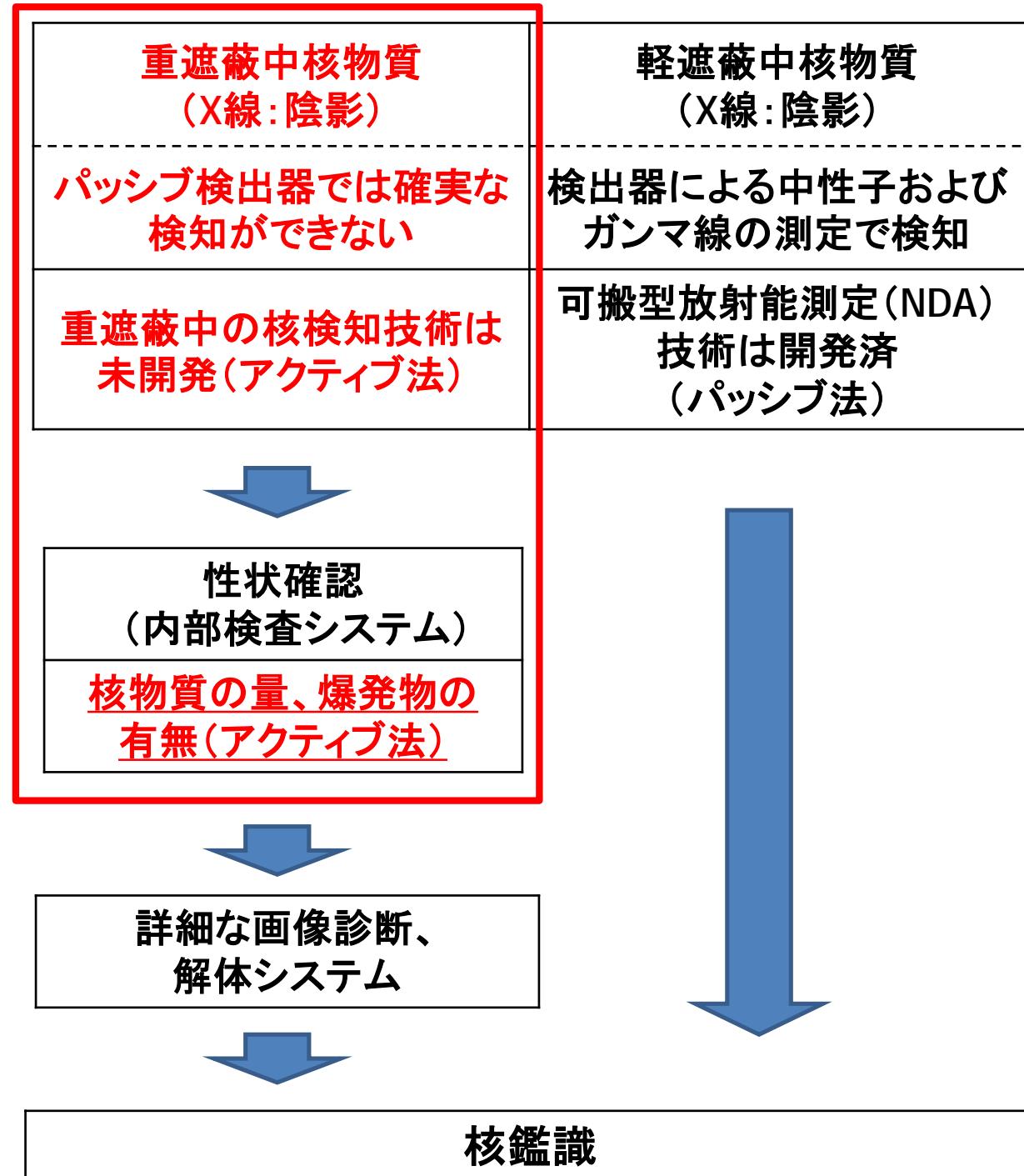
## 保障措置分野 (申告核物質)

## 核セキュリティ分野 (不法移転)

低放射線核物質 (低ガンマ線・低中性子線)	高放射線核物質 (高ガンマ線・高中性子線)	重遮蔽中核物質 (X線:陰影)	軽遮蔽中核物質 (X線:陰影)
再処理回収Pu (精製Pu) U新燃料、MOX新燃料	使用済み燃料集合体 再処理溶解溶液等 (FP、MA含)	パッシブ検出器では確実な 検知ができない	検出器による中性子および ガンマ線の測定で検知
核測定 (NDA) 技術は開発済 (パッシブ法)	核測定 (NDA) 技術は未開発 (アクティブ法)	重遮蔽中の核検知技術は 未開発 (アクティブ法)	可搬型放射能測定 (NDA) 技術は開発済 (パッシブ法)

IAEAの長期R&Dニーズにも合致  
 Ref: "IAEA Department of Safeguards Long-Term R&D  
 Plan, 2012-2023", IAEA, STR-375, (2013).

パッシブ NDA	対象核物質が自身で放出する放射線を(利用)計測するNDA
アクティブ NDA	外部から対象核物質に放射線を照射して反応を起し、それによる放射線を(利用)計測するNDA



# ISCNの技術開発の展開

- ① 核鑑識については、基本的な技術開発(2011～2014)、技術の高度化(確度向上・迅速化、2015～)、核・放射線テロ後の鑑識技術(post dispersion、2018～)を実施。また、成果の共有・展開を図るとともに、要請時に核鑑識分析及び分析技術の移転できるように分析技術、核鑑識ライブラリーの維持・向上を図る。
- ② 核物質の検知・測定技術については、高線量下の核物質測定や重遮蔽中の核物質検知に適用出来る、アクティブ法による非破壊検知・測定技術の原理実証・基盤技術の高度化(2011～2014)、実証試験・要素技術開発・小型化(2015～)を実施する。また、成果の共有展開を図る。
- ③ 国際機関、国際協力のパートナー等の要請に基づき、技術開発を実施し、成果の共有・展開を進める。

# 技術開発年度展開

	H23 (2011)	H24 (2012)	H25 (2013)	H26 (2014)	H27 (2015)	H28 (2016)	H29 (2017)	H30 (2018)	H31 (2019)	H32 (2020)
<b>核鑑識技術開発</b>	基本的な鑑識技術の整備				鑑識技術の高度化			鑑識技術の高度化 核・放射線テロ後の鑑識技術		
<b>アクティブ法による非破壊検知・測定技術開発</b>										
1) レーザ・コンプトン散乱・NRF-NDA技術開発(日本提案)	高輝度単色X線発生実証 KEK・ERL棟にcERLシステムを組上げ				実エネルギー単色ガンマ線利用検知実証試験					
2) アクティブ中性子NDA技術開発(JAEA/JRC共同研究)		中性子共鳴濃度分析法開発 (溶融燃料中核物質NDA技術開発) (NRD = NRTA + NRCA + PGA)			アクティブNDA要素技術開発			高放射線核物質測定要素 技術開発		
						アクティブ中性子NDA技術開発 (DDA、DGS、NRTA、PGA法)				
<b>要請に基づく研究開発</b>										
1) 使用済み燃料集合体Pu-NDA技術実証試験(PNAR法)(JAEA/DOE共同研究)	ふげん使用済み燃料集合体での技術試験(パッシブ法) ふげん MOX7体、UOX1体			軽水炉使用済み燃料集合体での技術試験を 米国・韓国/米国・スウェーデン共同研究で継続 (パッシブ法、アクティブ法) KAERI SKB(CLAB):PWR25体、BWR25体						
2) 代替He-3検出器開発(IAEA要請:JAEA単独)										
3) 先進プルトニウムモニタリング技術開発(JAEA/DOE共同研究)					JAEA-TRP(高レベル廃液タンク他)					
4) 魅力度評価研究(JAEA/DOE共同研究)								評価項目の拡張・一般化		

# これまでの成果

- ① 「核不拡散・核セキュリティ関連業務」の中間評価(2015年8月)において、「高度な核物質の測定、検知及び核鑑識に係る技術開発については、・・・基盤技術の確立が図られた。また、これらの技術開発の成果については・・・国際社会と共有し、国際的な核不拡散・核セキュリティ強化に貢献している」との評価を得た。
- ② これまでの技術開発成果については、国際会議等での報告(2015年度:38件、2016年度:57件)、学会誌への投稿(2015年度:3件、2016年度:10件)を行った。
  - 核鑑識技術開発に係る論文が、第37回欧州保障措置研究開発協会(ESARDA)年次大会(2015)で新技術・核鑑識セッションにおける最優秀論文を受賞。
  - 「中性子共鳴濃度分析法」が日本原子力学会技術開発賞(2015)を受賞。
- ③ ワークショップ等を開催し、成果の共有・展開を進めた。
  - 2015年3月、代替He-3中性子検出器を実装したASASの性能評価試験を機構のプルトニウム転換技術開発施設で実施。IAEA, LANL,及びEC/JRCから専門家が参加。
  - 2015年3月、中性子共鳴濃度分析法に関する国際ワークショップをベルギーで開催。JAEA及びEC/JRCが共催、IAEA、米国(DOE, LANL, LLNL, ORNL)、EU加盟国、日本の大学関係者等50名の専門家が参加。
  - JAEA主催技術シンポジウムを年1回開催。2015年度「核不拡散・核セキュリティ研究開発課題と方向性、Science communityの形成」(時事通信ホール、参加者:116名)、2016年度「核検知技術」(東大山上会館、参加者:135名)、2017年度「核鑑識技術」(東工大くらまえホール、参加者:148名)

# 核鑑識技術開発

## 現状と課題

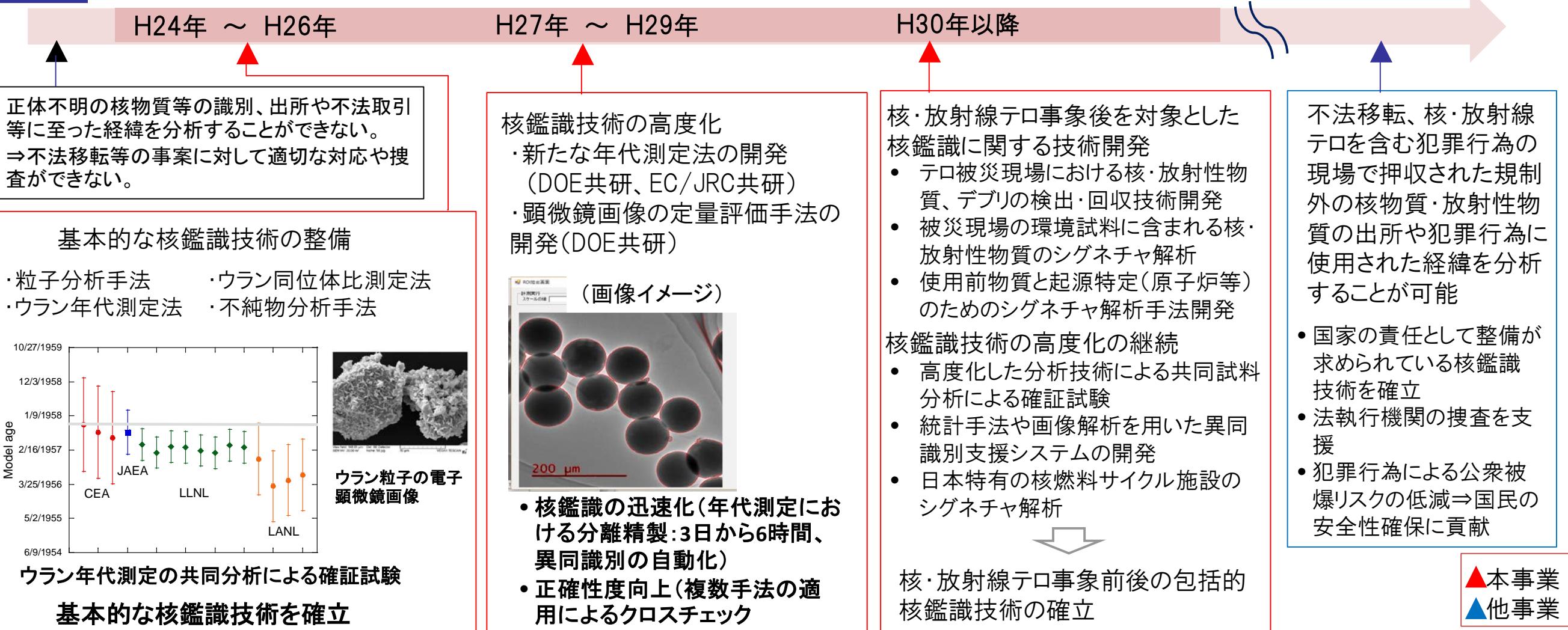
- ✓ 核鑑識技術は国家が備えるべき核セキュリティ基盤の重要な構成要素(IAEA)とされており、各国が核鑑識技術および体制の整備を進めている。
- ✓ 事業開始時(H23)においては、不明物質の正体を特定する核鑑識分析技術、物性データを照合し製造プロセスや施設といった出所・履歴の情報を解析するための情報基盤(核鑑識ライブラリ)がなく、規制外物質の出所や不法移転に至った経緯を分析することができなかった。

## JAEAで技術開発を行う意義

- ✓ 核燃料物質の取扱設備・分析に関する知見を有するJAEAは、高精度な同位体分析手法の確立、粒子分析手法の確立を円滑に遂行できる。
- ✓ 米国・欧州は20年以上にわたり核鑑識技術の開発と整備が行われており、実際の事案も経験している。これら米国・欧州とのこれまでの協力関係をもとに共同研究\*を実施し、新たな分析手法の開発および確認試験を実施することができる。
- ✓ 押収物質を特定するための情報基盤の整備について、多様な研究炉を所有してきたJAEAの核燃料物質に関する知見は有効に利用できる。

\*:DOE-MEXT原子力協力取決め、EC/JRC-JAEA核不拡散・核セキュリティ協力取決めに基づく共同研究

## 概要 (国外共同研究機関:DOE、EC/JRC)



# アクティブ法による非破壊検知・測定技術開発の将来展開

<p>1) 核共鳴蛍光(NRF)-NDA技術実証試験(日本提案)</p> <p>2019年に実証技術確立(実展開が可能となる)</p>	核セキュリティ	<p>(大規模港湾)</p> <p>○重遮へい不法核物質の検知</p>
	保障措置	<p>(核燃料サイクル施設、廃棄物施設)</p> <p>○長期保管中使用済み燃料集合体中核物質精密測定(同位体組成比)</p> <p>(廃炉関係)</p> <p>○熔融燃料キャニスター内Pu/Uの定量測定(JAEA)</p> <p>○高速炉燃料集合体(常陽、もんじゅ燃料集合体、ブランケット燃料集合体)中のPu、特定FP等の非破壊定量測定(高速炉燃料再処理の一部代替)</p>
<p>2) NRD技術開発、アクティブ中性子非破壊測定技術開発(JAEA/JRC共同研究)</p> <p>Phase II 終了時点(2021年度末)で一部の実証技術確立(実展開が可能となる)</p>	核セキュリティ	<p>(大規模港湾、不法核物質取扱い施設)</p> <p>○不法核物質と爆発物検知、核物質性状把握(空港等)</p> <p>○次世代核物質検知システム</p>
	保障措置	<p>(核燃料サイクル施設)</p> <p>○保障措置サンプル中の同位体非破壊分析(同位体組成比等)</p> <p>(廃炉関係)</p> <p>○粒子状熔融燃料中Pu/Uの定量測定(JAEA)</p> <p>○核変換施設でのPu/U/MA/FP混合燃料中のPu、U、MAの定量非破壊分析</p>

# 1) 核共鳴蛍光(NRF)-NDA技術実証試験

## 現状と課題

- ✓ 世界中どの国においても、海上貨物コンテナ内など、不審な遮へい体に覆われている核物質を確実に検知できる技術がない。
- ✓ 港湾における核物質の違法輸出入の取り調べが不可能であり、不法取引が行われる可能性を阻止できていない。

## JAEAで研究を行う意義

- ✓ 単色ガンマ線を使用することにより、厚い遮へい体に覆われた核物質の確実な検知できる可能性があり、本プロジェクトを提案・開始した(平成23年)
- ✓ JAEAは、DOEとNRFの共同研究を実施した経験がある他、NRFおよび大強度単色 $\gamma$ 線発生技術の第一人者がJAEAに在籍しており、研究・開発の基礎技術力が既に整っている。
- ✓ NRFによる核検知技術開発は原子力機構がこれまで行ってきた研究であり、本技術の確立のため試験を行える施設は、日本では、ニュースバル施設(兵庫県立大)、国外では、米国デューク大の大強度単色 $\gamma$ 線発生実験施設があり、これらを利用する同研究が有効(いずれも、計画及び実験の実質的な実施は、原子力機構が行う)。

## 概要

(国外共同研究機関:デューク大学)

NRFシミュレーションコード作成

NRFシミュレーションコードに弾性散乱効果の組み込み  
シミュレーション結果と実験の比較検証

▲本事業  
▲他事業

H23年

H26年

H27年

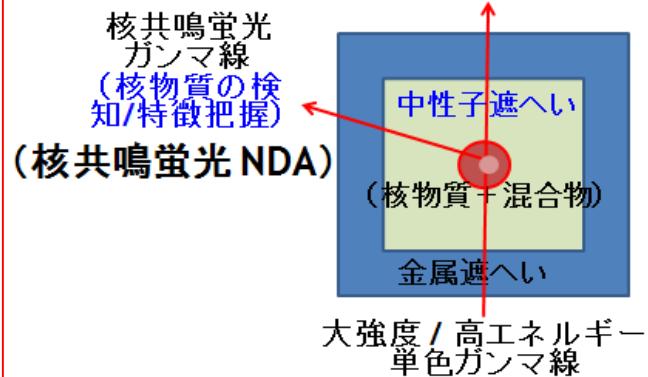
H31年

高度単色ガンマ線発生技術の確立

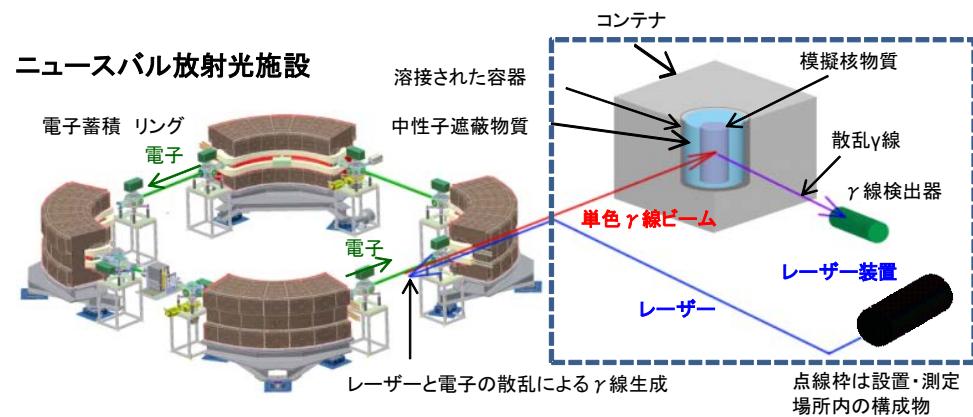
NRF-NDA技術の実証  
重遮蔽中の模擬物質検知デモ

・原子炉等での使用済み燃料(アセンブリ等)の核測定・検認装置  
・核不拡散監視技術の高度化

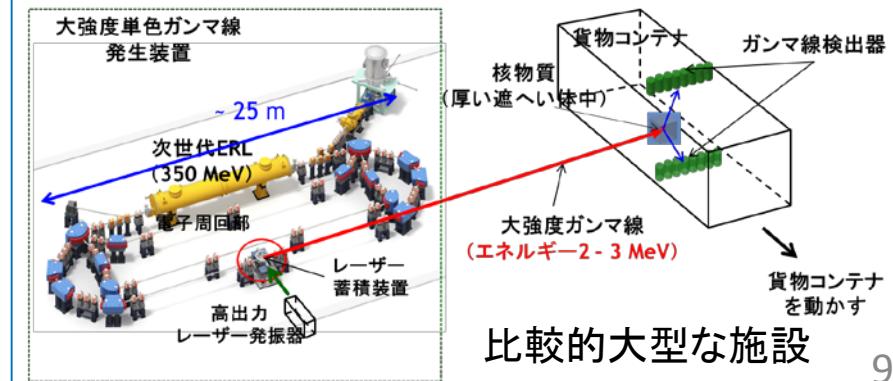
核物質の検知手法提案  
(プロジェクトの開始)



技術実証試験のためのプロジェクト開始



- ・港湾におけるコンテナ内不審領域の核物質検査が可能に
- ・核物質の不法取引防止
- ・核物質の安全輸送開始



# 2) NRD技術開発、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)

## 現状と課題

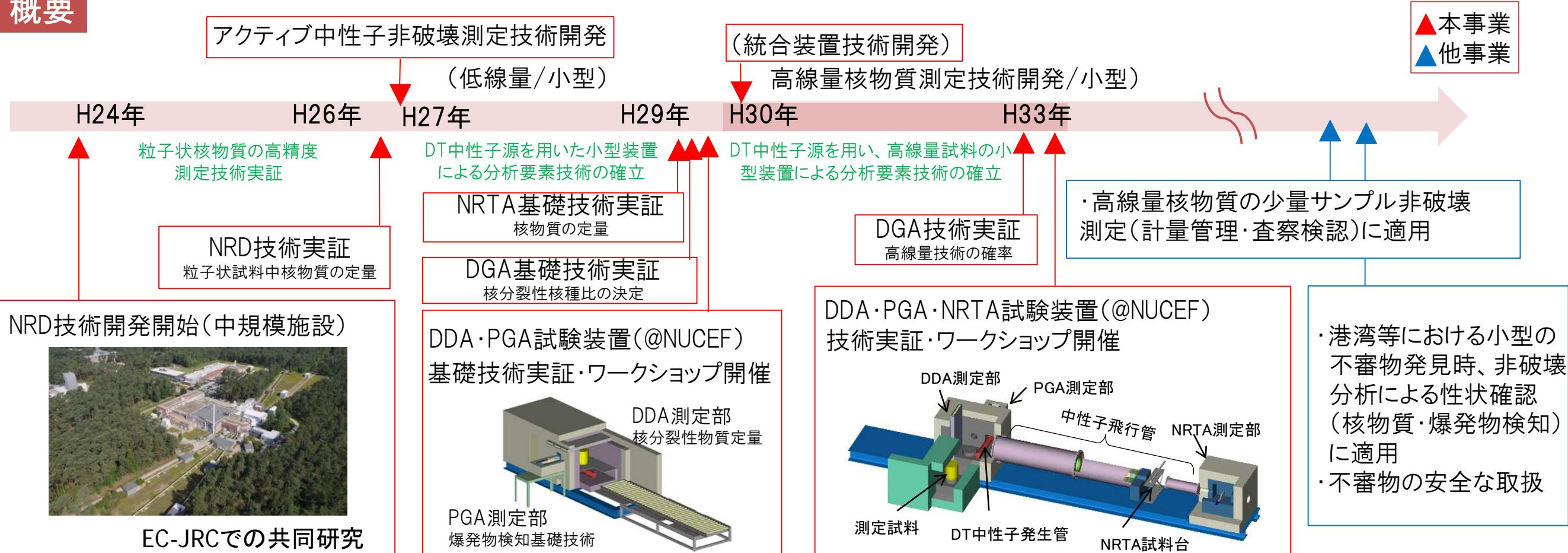
- ✓ 使用済核燃料、MA燃料、核拡散抵抗性の高い核燃料、熔融燃料などの計量管理・査察検認のための非破壊測定法の開発が必要。
- ✓ 高線量試料は、パッシブ非破壊測定法では測定が困難である。一方、アクティブ非破壊測定法による計量管理・査察検認のための要素技術、およびそれらを組合せた測定技術開発はほとんど行われていない。

## JAEAで研究を行う意義

- ✓ 粒子状熔融燃料など、複雑な組成・形状の核燃料を計量管理するため、中性子共鳴透過分析法(NRTA)と即発γ線分析法(PGA)を組み合わせた中性子共鳴濃度分析法(NRD)を提案。EC/JRCとの共同研究で本補助金プロジェクトを成功させた(平成24-26年(原子力学会賞H27年))。また、ダイヤウェイ時間差分析法(DDA)では、約20年以上の開発実績があり、同技術が人形峠のウラン廃棄物の計量管理に採用されるように、研究・開発の基礎技術力が既に整っている。
- ✓ パルス中性子源を有し、かつ核物質を取り扱える施設は限られており、装置の建設を含めて研究を進めることができるのは、原子力機構のNUCEF施設のみ。装置の建設と並行してEC/JRC、京都大学との共同研で要素研究を進めることが有効。

## 概要

(国外共同研究機関:EC/JRC)

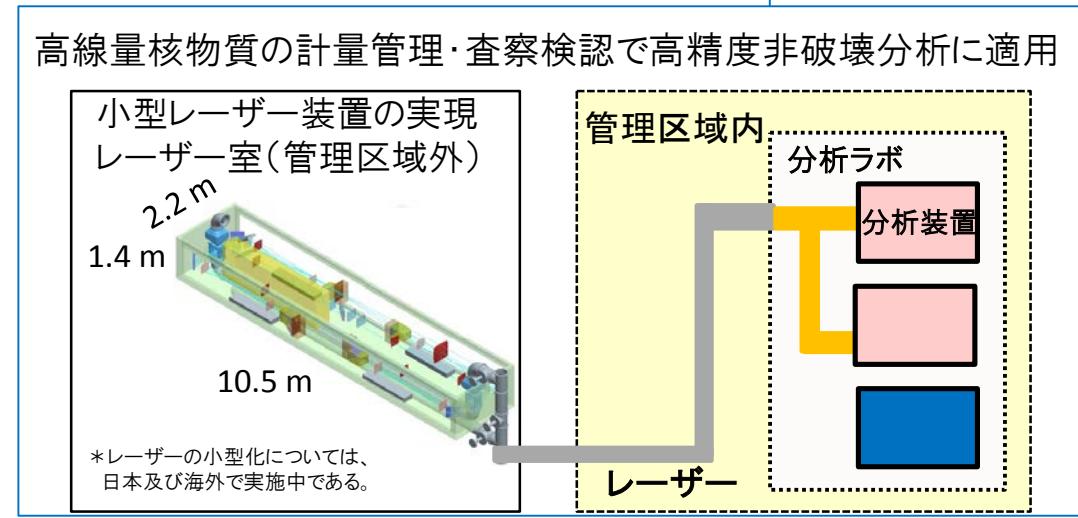
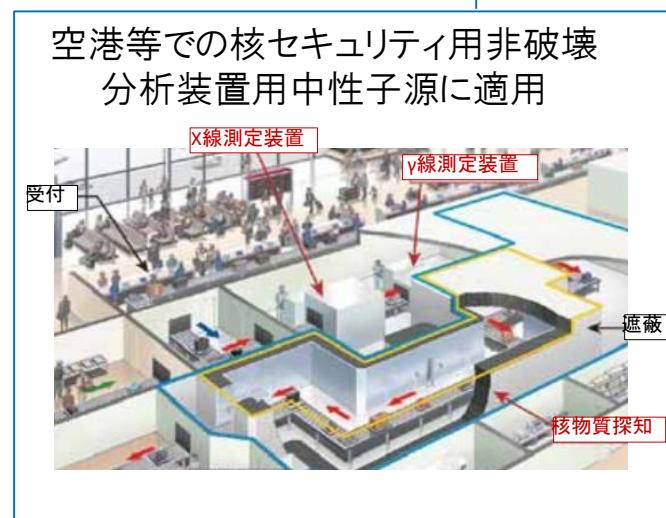
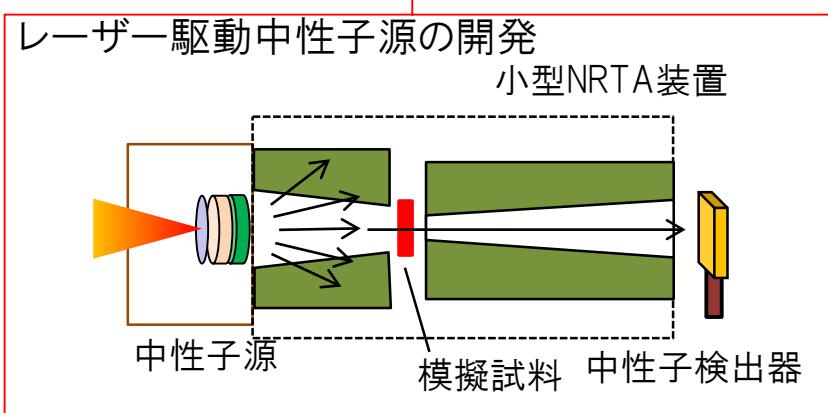
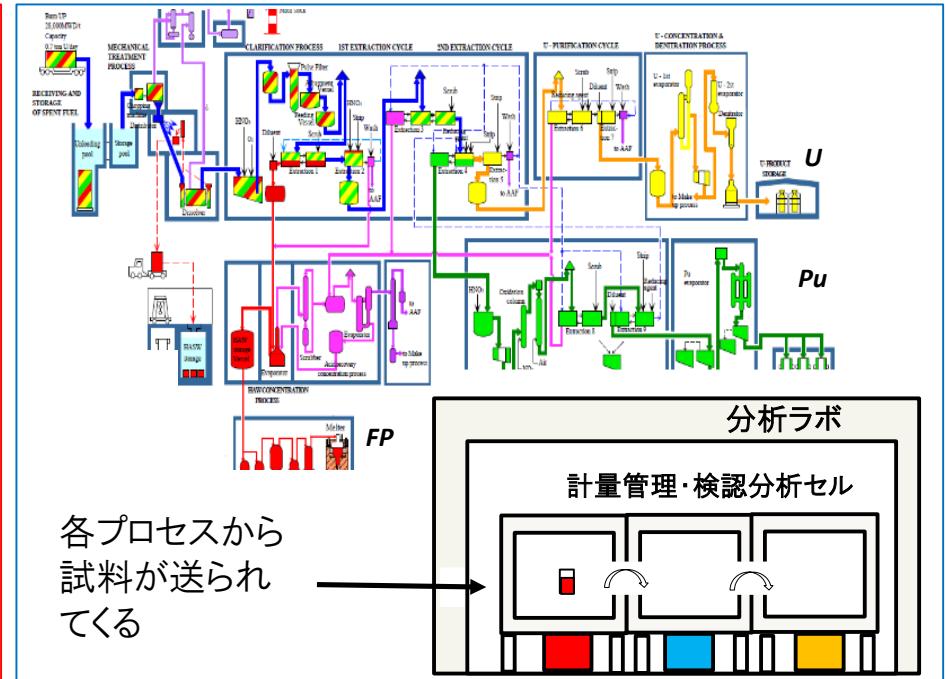
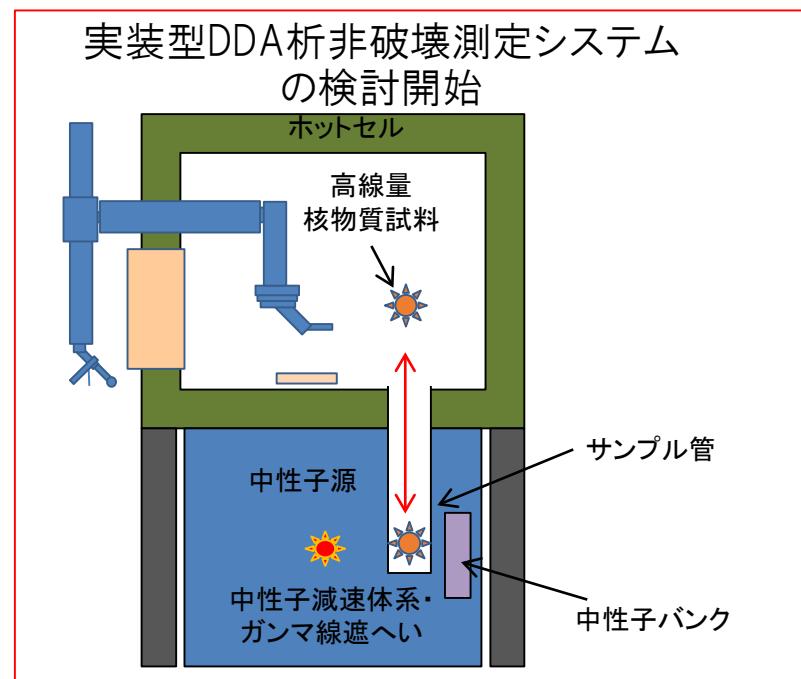
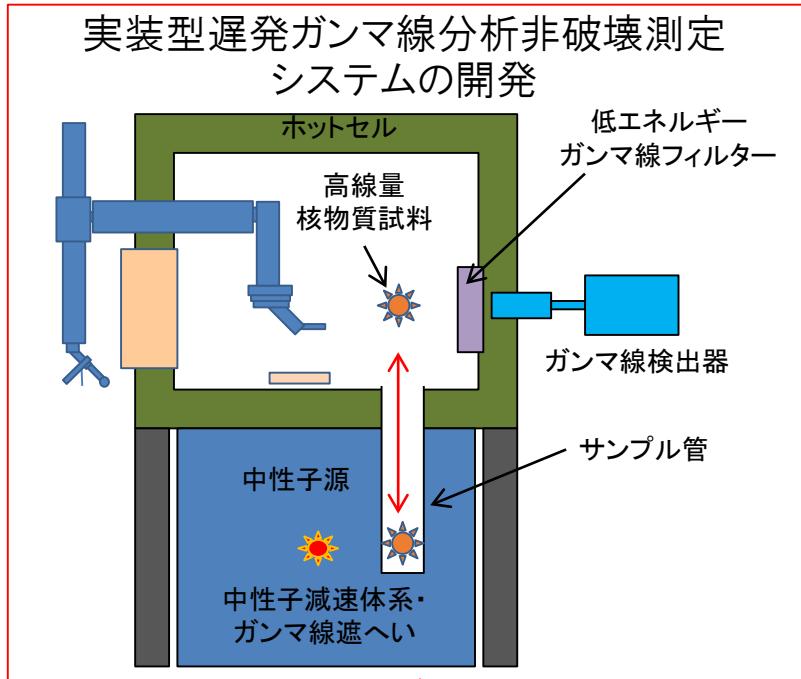


アクティブ法による非破壊検知・測定技術開発:

## 2) アクティブ中性子非破壊測定技術開発

アクティブ中性子非破壊測定技術を適用した分析装置を提案するため、実装型遅発ガンマ線分析非破壊測定システム開発を行う。また、高精度分析装置開発のため、レーザー駆動中性子源開発を進める。

再処理施設での高線量核物質の計量管理・査察検認に適用  
迅速化・廃棄物の低減化が実現



# 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

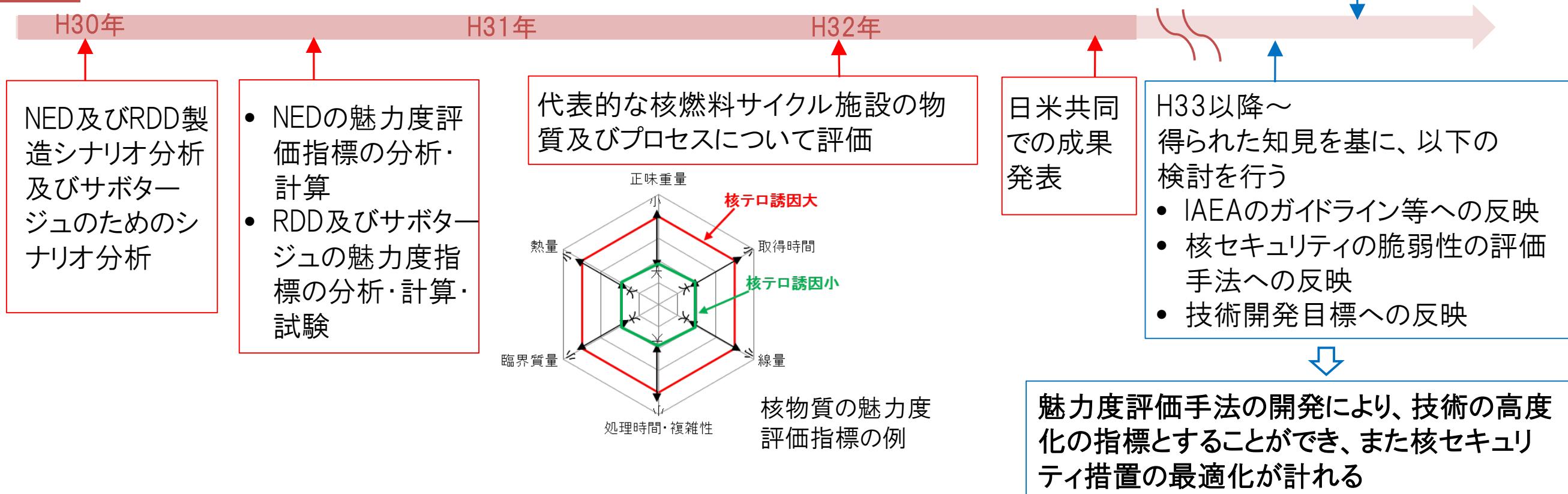
## 現状と課題

- ✓ 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、核起爆装置(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)に対しての包括的に核物質等の魅力度を評価した例は未だない。
- ✓ 核物質・放射性物質および原子力施設へのテロ対策を考える上で、核物質等の魅力度の包括的な評価は世界的にニーズがある。
- ✓ 日米核セキュリティ作業部会のゴール9において本研究を実施することを双方合意

## JAEAで研究を行う意義

- ✓ 核物質等の魅力度の統一的な指標を作る上で、基礎科学に基づいた検討が必要である。JAEAは、多様な核燃料サイクル施設を有し、その専門的知見があるとともに核物質及び放射性物質の基礎科学的な知見を多数有する。
- ✓ JAEAは核不拡散・核セキュリティに関する研究を長年にわたり行い多数の知見を有しており、また核物質に関する実験を含む研究をする上ではJAEAは既に研究設備が整っている。
- ✓ 本研究は、米国との共同研究(日米核セキュリティ作業部会の活動の一環)として実施予定である。米国はNED・RDDに関する知見を多数有しているため、効率的な研究の実施が期待できるとともに米国と共に研究成果を示すことで国際的な核セキュリティ基準の検討に貢献できる。

## 概要 (国外共同研究機関:DOE(米))



# 核セキュリティサミットとISCN

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、

「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、これを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していく」



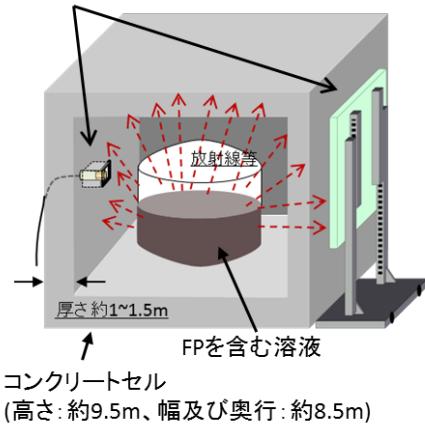
に基づき、2011年にISCNが設立され、それ以降、文科省の核セキュリティ等補助金を用いて、グローバルな核不拡散・核セキュリティの強化に貢献することを目的として、核不拡散・核セキュリティ技術開発を実施している。

# 核不拡散・核セキュリティ技術開発における国際協力

## 先進的プルトニウムモニタリング技術開発

高放射性溶液のプルトニウムを非破壊で継続的に測定・監視するための技術開発

検出器  
(新規開発:セル貫通部型,セル壁型)

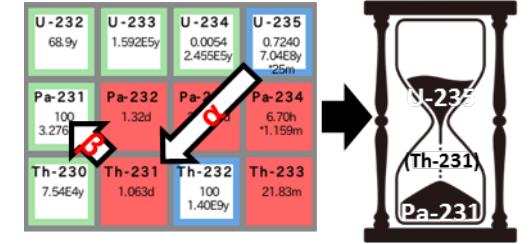


シミュレーション、検出器設計、評価を共同で実施

## 核鑑識技術開発

不法行為等に使用された核・放射性物質の出所・履歴を明らかにする核鑑識に関連する分析技術、核鑑識ライブラリ(データベース)とそれを使用した解析技術の開発

- ・顕微鏡画像解析ツールの開発
- ・新ウラン年代測定法の開発



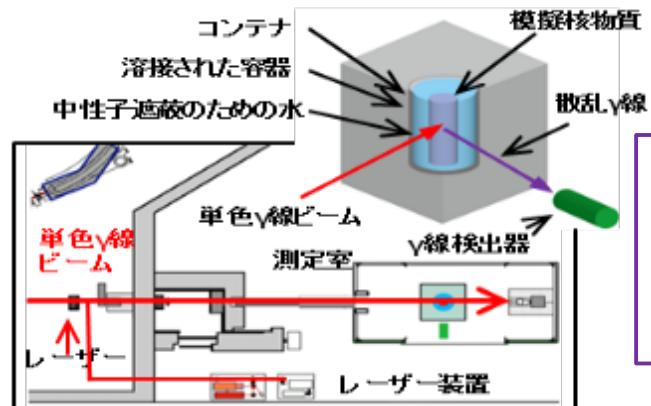
## 核鑑識国際技術作業部会(ITWG)

- ・国際共同試料分析演習
- ・核鑑識ライブラリ国際机上演習

- ・共同試料分析評価

## 核共鳴蛍光NDA技術実証試験

厚い遮へい体に囲まれた核物質探知等の非破壊測定装置の開発



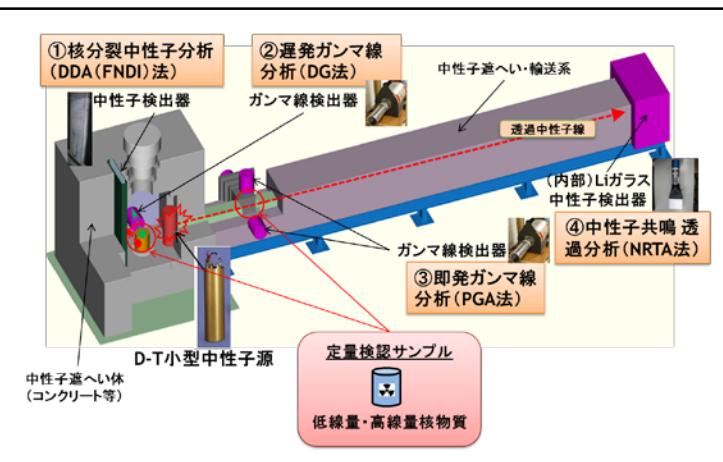
米国Duke大学  
シミュレーションコード  
高度化に関しベンチ  
マーク実験

米国エネルギー省  
(DOE)

欧州委員会・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

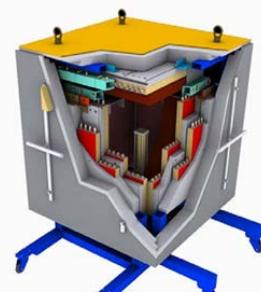
外部パルス中性子源を用いた複数の手法により種々の対象物に適用が期待できる非破壊測定技術開発



先方施設を利用した基礎実験の実施等



JRC- Geel: GELINA



JRC-Ispra: PUNITA