

核不拡散・核セキュリティ総合支援センターの 平成31年度以降の取組みの方向性



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



2018年 6月 6日

目次

- 平成31年度以降の核不拡散・核セキュリティ強化の取組みの方向性
- 人材育成支援の取組み
- 技術開発の取組み

平成31年度以降の核不拡散・核セキュリティ強化の取組みの方向性

背景・必要性

- 国際的な核セキュリティ強化に対する認識の高まりを受けて、米国オバマ政権のイニシアティブで、2010年から2016年まで、核セキュリティサミットを開催。
- 我が国は、洞爺湖サミットを契機に、3S（①保障措置、②安全、③セキュリティ）を主導している。
- 我が国の原子力平和利用の経験を生かし、グローバルな核セキュリティ強化に関し、我が国が世界において先導的な役割を果たすことが必要。



2010年の第1回核セキュリティサミットにおける声明

アジア諸国を始めとする各国の核セキュリティ強化に貢献するためのセンター（「アジア核不拡散・核セキュリティ総合支援センター（仮称）」）を日本原子力研究開発機構（JAEA）に設置する

- アジアを中心とした諸国への人材育成支援
- 核物質の測定、検知及び核鑑識に係る技術の開発

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等での審議

- 「核不拡散・核セキュリティに関する取組の強化の事前評価結果」 平成22年8月、原子力分野の研究開発に関する委員会
- 「核不拡散・核セキュリティ関連業務（核不拡散・核セキュリティに関する取組の強化）」の中間評価結果、平成27年8月、原子力科学技術委員会
- 「原子力科学技術に関する研究開発課題の中間・事後評価結果」 平成27年10月、原子力科学技術委員会
- 「今後の核不拡散・核セキュリティ研究開発の進め方について」（中間とりまとめ） 平成29年、原子力科学技術委員会

H31年度以降の取組みの方向性

人材育成支援

- 人材育成支援、セミナー等を継続。
- 大学との連携を強化。

技術開発

- 俯瞰図を参考に実施。日本の強みを活かす。リスク、脅威の分析。
- 技術開発成果の共有・展開。

人材育成支援の取組み

ISCN人材育成支援事業に関する評価

ISCN人材育成支援事業に期待される役割は、ISCN設立時以降引き継がれており、定期的なレビューにより本事業に期待される方向性が示されている。

ISCN人材育成支援事業の必要性、有効性及び効率性に関する事前評価

- アジアで原子力発電導入の機運が高まる中、我が国の原子力平和利用の経験を生かしてグローバルな核セキュリティに貢献することは極めて重要。
- 日本は長年国際原子力機関（IAEA）保障措置を受け入れてきており、原子力平和利用に関し確固たる実績があり、そのノウハウを提供できる。
- 既存のリソース（JAEAの人材及び設備、IAEAや米国等との国際的な協力関係）を活用した効率的な事業の実施ができる。

原子力分野の研究開発に関する委員会「核不拡散・核セキュリティに関する取組の強化の事前評価結果」平成22年8月

中間評価

- ISCNは国際的な核不拡散、核セキュリティ強化への我が国の貢献を目に見える形で示すという点において、その役割を十分に果たしている。
- **核不拡散・核セキュリティ強化の重要性に対する認識が国際的に高まっていることを踏まえ、本事業を継続・発展させる。**
- 今後はアジア地域のプラットフォームとして、人材ネットワークの構築、他国トレーニングセンター（COE）との連携強化、活動内容の定期的レビュー及び結果の今後の活動への反映を期待

原子力科学技術委員会「原子力科学技術に関する研究開発課題の中間・事後評価結果」平成27年10月



継続的な取組への期待

ISCNについては、核不拡散・核セキュリティにおけるこれまでの研究開発や人材育成支援の実績について米国やIAEA等を始めとする国際社会からも高く評価されており、その経験を活かして、今後も継続的に人材育成関連の取組を展開していくべきである。

核不拡散・核セキュリティ作業部会における「今後の核不拡散・核セキュリティ研究開発の進め方について」（中間とりまとめ）平成29年6月

人材育成支援事業基本方針

国際的・地域的な課題及び対象国のニーズに対応し、JAEAの経験及び知見を最大限に活用して、核不拡散・核セキュリティ分野の人材育成関連の取組を継続して展開していく。

基本的考え方：

- 核不拡散・核セキュリティの国際的な共通枠組み及びIAEAガイドライン等を考慮しつつ、日本が原子力平和利用を進めるなかで培った経験、地域や各国の特徴を生かした人材育成に取り組む。
- 対象国の管理監督層及びトレーナー育成を目指したトレーニングを実施し、アジア地域での人的ネットワークを構築する。
- 支援対象国の様々なニーズに対し、地域に共通する重要項目に優先順位を付けて効率的に実施する。

(平成22年12月 核セキュリティ関係準備検討会報告書)

支援対象国：

- 核セキュリティサミット（2010-2016）における我が国のナショナル・ステートメント及び我が国の海外原子力事業展開を考慮し、アジアを中心とした諸国の内、アジア原子力協力フォーラム（FNCA）参加国、東南アジア諸国連合（ASEAN）加盟国及び我が国と原子力協定締結又は交渉中の国、特段の理由のある国等を支援対象とする。
- 支援対象国は毎年度見直しを行い、関係省庁と調整の上で決定する。

提供するコース：

1. **核セキュリティコース**：IAEA等の国際的枠組みを参考にした、核物質、放射性物質、及び関連施設に対する不法行為の予防・検知・対応
2. **核不拡散（保障措置・国内計量管理制度）コース**：IAEA保障措置制度と要件、核物質の計量管理手法・技術、追加議定書、各国の保障措置・計量管理の経験
3. **国際枠組みコース**：核不拡散・核セキュリティに関して、対象国との二国間協力を進めるための具体的協力内容の確認

核不拡散・核セキュリティに係る国際的・地域的課題*

下記課題のほとんどはISCN発足当時から大きくは変わっておらず、これらの課題に対応すべくこれまでもアジア諸国に対し支援を行っている。

核セキュリティ

アジア諸国：核セキュリティに関する国内体制の整備支援が必要。

- 国際条約の普遍化促進
- 核物質防護に関する体系的なトレーニングの提供
(施設の核物質防護、放射性物質のセキュリティ、内部脅威、サイバーセキュリティ、核セキュリティのための計量管理 (NMAC)、輸送セキュリティ、核鑑識等)
- 政策立案者等の政府関係者に対する意識啓発
- 核セキュリティ文化の醸成
- トレーニングセンターの支援

国内：新たな脅威（内部脅威、放射性物質セキュリティ、大規模イベント時の核セキュリティ、サイバーセキュリティ等）に対応する人材の育成が必要。

- 関係政府機関等への支援
- 核セキュリティ文化の醸成・強化
- 大学のカリキュラム開発支援、講師育成

核不拡散（保障措置）

アジア諸国：核不拡散（保障措置）に関する国際条約の批准、国内体制の整備支援が必要。

- 保障措置に関する体系的なトレーニングの提供
(国内計量管理制度 (SSAC)、非破壊分析 (NDA)、少量議定書 (SQP)、輸出管理等)
- 政策立案者等の政府関係者に対する意識啓発

国内：保障措置・計量管理制度は整備済み。次世代の人材育成が必要。

IAEA支援：IAEAの活動は拡大しており、効果的な検認活動のためにもJAEAの施設を活用したIAEA査察官の能力強化支援が必要。

- JAEA再処理施設を使ったトレーニング
- 使用済み燃料検認技術 (DCVD)

赤字：コンスタントなニーズがあり、継続して支援が必要な包括的なもの

青字：これまでも支援しているが細かなニーズに対応しきれておらず、新規コース開発等の拡充が必要なもの

黒字（下線あり）：新たに支援が必要なもの

*核セキュリティ・サミット、IAEA核セキュリティ計画及び総会、IAEA保障措置報告書、APSNアンケート、ISCN事業のアンケート結果等より分析した。

ISCNによる人材育成支援の重要性

日本で唯一の原子力に関する総合的研究開発機関として、これまでJAEAが培ってきた核セキュリティ及び核不拡散（保障措置）実施の経験と知識、既存の国際協力の枠組み及びJAEAの施設を活用し、効率が良くかつ日本にしかできない支援を提供することができる。

アジア諸国及び日本の現状

- 自国で原子力発電導入の実績がほとんどなく、核不拡散（保障措置）及び核セキュリティ分野の自国内での人材育成能力に限度がある。
- トレーニングを必要とする人材はアジアに多くいるが、受け皿が限られている（IAEA、自国のトレーニングセンター等）。
- IAEAにおいても、加盟国からの支援要請の増加に単独で応えることは難しく、COEの活用を重視している。
- 日本国内においてもISCN以外による核不拡散・核セキュリティに関するトレーニングの機会がない。

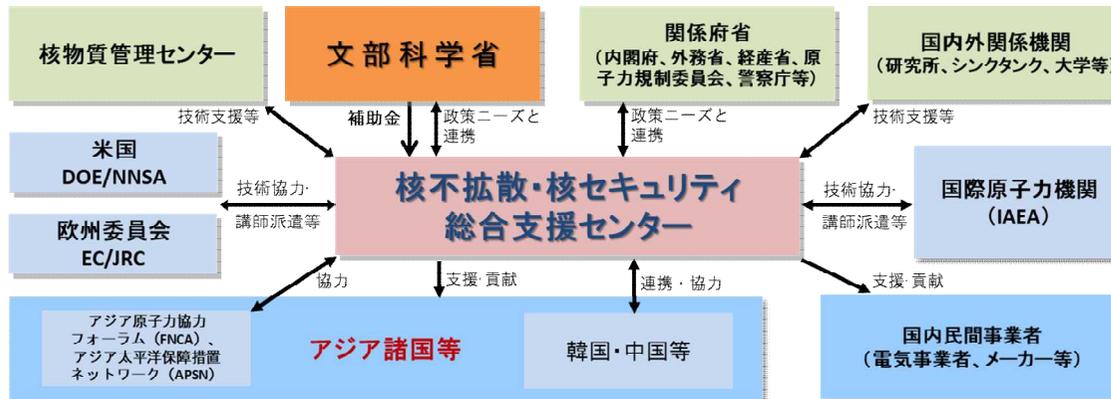


ISCNにしかできない支援：JAEAの経験・知識を最大限に活用

- 原子力事業者としてのJAEAの保障措置及び核物質防護実施の長い経験と知識
- ISCN設立以前より、アジア地域における核不拡散（保障措置）のトレーニングセンターとして機能
- 既存の国際協力を活用した効率の良い支援（米国エネルギー省（DOE）、欧州原子力共同体（EURATOM）等）
- JAEAの実施設を使用した実践的トレーニングの提供
- 研究開発機関としての、国内外の専門家ネットワーク
- COEとしてアジア地域で8年間活動してきた経験
- トレーニング効果を上げる核物質防護実習フィールドとバーチャル・リアリティ・システムの活用
- 核セキュリティと核不拡散の双方を教えられる→共通領域コースの提供（例：核セキュリティのための計量管理（NMAC）に関するトレーニング）

人材育成支援事業における国際連携・協力について

我が国政府と協議しながら国際的に人材育成事業を展開しているIAEA、米国や欧州とも調整・協力しながら、効率的な事業を展開していく。中国・韓国と同様の人材育成センターとの連携・協力も重視する。支援対象国に対しては、文科省、経産省、外務省と連携を図りながら、日本が一体となって支援していることを示す。



日米協力 (DOE-JAEA) : 核不拡散 (保障措置) 及び核セキュリティ分野の人材育成支援事業に関する協力。カリキュラム共同開発、ISCN講師育成支援、共同アウトリーチ、講師相互派遣等
IAEA-JAEA協力 : トレーニングコース共催、IAEA会合への専門家派遣、IAEAコースへの講師派遣
EURATOM-JAEA協力 : トレーニングコース共催、共同アウトリーチ
日中韓3COE+1 (IAEA) 協力 : 東アジアに設置された3つのCOE間の連携協力、活動計画に係る情報の共有、講師相互派遣、共同アウトリーチ

人材育成支援事業の実施にあたり、これまで展開してきたDOE、EURATOM、IAEA、日中韓3COE連携、ASEAN、及びその他既存のイニシアティブ・ネットワークなどとの国際協力は、効率的・効果的な事業の実施には不可欠であり、引き続き積極的に連携・協力していく。

- アジア原子力協力フォーラム (FNCA) への協力
- アジア太平洋保障措置ネットワーク (APSN) への協力
- ASEANとの協力 (ASEAN Centre for Energyとのセミナー共催、ASEAN+3会合での報告等)
- 他国のCOEまたはNSSC*支援

* NSSC: Nuclear Security training and Support Centre、IAEAがメンバー国に核セキュリティ関係のトレーニングの提供、技術支援を行うセンターの設置を奨励している。すでに、IAEAが事務局になりNSSCのネットワークが2012年に設置されて、相互の情報の共有などが図られている。

相手国のニーズにより細やかに対応できる二国間協力についても、先方のニーズに応じて引き続き行っていく。

ISCNの人材育成支援事業に対する外部からの評価

アジアにおける人材育成の拠点（COE）として、IAEA、協力のパートナーである米国、ASEAN、日本の閣僚等、国内外から高く評価されている。

米国

- ◆ 平成28年4月に開催された第4回核セキュリティサミットにおける日米共同声明において「米国は、機構の核不拡散・核セキュリティ総合支援センター（ISCN）が担っている、他国、特にアジア諸国の人材の能力構築における不可欠な役割を特に賞賛し、ISCNが、この地域における核セキュリティ強化のための主導的な拠点としての役割を果たし続けることを期待する。」との評価
- ◆ 平成27年7月に米ワシントンで開催したDOE/NNSAと共催の「日米協力5周年ワークショップ」において、米政府高官は「ISCNは、核セキュリティサミットの大きな成果であり、セキュリティ・プロセスの推進力となっていること、首脳レベルの意識向上、国際協力の基地、信頼醸成へ大きな役割を担っている」と評価
- ◆ 平成28年2月の核不拡散・核セキュリティに係る国際フォーラムでも米国政府高官から「IAEAでの核セキュリティ基準の作成や核不拡散・核セキュリティ分野でのアジア地域の人材育成に寄与している」との評価
- ◆ 平成29年6月の日米核セキュリティ作業グループにおいて米政府高官から「ISCNの人材育成は素晴らしい成果を上げており、日米のパートナーシップが最も上手く機能している分野である」との評価

IAEA

- ◆ IAEAは、セミナー等において「ISCNによる新規原子力発電導入国のインフラ整備及び能力増強支援は、IAEAの活動を強力にサポートするものである」と繰り返し評価
- ◆ 活動実績が評価され、模範的な核セキュリティトレーニングセンターとしてIAEAからの取材を受け、平成29年11月の核セキュリティ国際会議でその様子を紹介

アジアを中心とする対象国、連携組織（ASEAN等）

- ◆ ISCNの支援活動に対して首脳会談（日・バングラデシュ、日・ASEAN）等の共同声明で謝意を表明

日本の閣僚

- ◆ 原子力エネルギー、核セキュリティに関係する「ASEANエネルギー大臣会合」及び「IAEA総会」等の国際会議において日本の閣僚からISCNの取り組みが紹介され、さらなる貢献の継続・強化を表明

核セキュリティコース年度展開 (H29-H33年度)

	H29年度	H30年度 (案)	H31年度 (案)	H32年度 (案)	H33年度 (案)
海外に向けた核物質防護に係るトレーニングコース	RTC on PP	RTC on PP NEW 核鑑識	RTC on PP NEW NMAC	RTC on PP NEW 核セキュリティ文化自己評価	RTC on PP NEW 大規模イベントセキュリティ
二国間協力	ACEセミナー PP インドネシア カザフCOE WS サウジ3Sセミナー	PPインドネシア PPカザフスタン 当該年度中に決定	PPインドネシア PPカザフスタン 当該年度中に決定	PPインドネシア PPカザフスタン 当該年度中に決定	PPインドネシア PPカザフスタン 当該年度中に決定
国内に向けた核物質防護に係るトレーニングコース	PP	NEW PP NEW 内部脅威 TTX (簡易)	NEW PP 大規模イベントセキュリティ	PP TTX (簡易)	PP 内部脅威
国内政府関係機関に向けたトレーニングコース	規制庁 上期・下期 規制庁 (応用) 陸自化学学校 海保 警察庁	規制庁 上期・下期 規制庁 (応用) 陸自化学学校 海保 警察庁	規制庁 上期・下期 規制庁 (応用) 陸自化学学校 海保 警察庁	規制庁 上期・下期 規制庁 (応用) 陸自化学学校 海保 警察庁	規制庁 上期・下期 規制庁 (応用) 陸自化学学校 海保 警察庁
ISCN-WINSワークショップ	WINS	WINS	WINS	WINS	WINS
核セキュリティ文化の講演	9社17施設	未定：依頼ベース	未定：依頼ベース	未定：依頼ベース	未定：依頼ベース
IAEAコース共催 (海外向け)	核セキュリティ体制 大規模イベントセキュリティ	改定CPPNM RIセキュリティ 研究炉セキュリティ	当該年度中に決定 当該年度中に決定	当該年度中に決定 当該年度中に決定	当該年度中に決定 当該年度中に決定

ISCN以外 (SNL, IAEA等) の寄与

: ISCNの寄与

NEW : ISCNで初めて扱うコース

核不拡散（保障措置・国内計量管理制度）コース年度展開 (H29-33年度)

	H29年度	H30年度 (案)	H31年度 (案)	H32年度 (案)	H33年度 (案)
国内計量管理制度に係る国際トレーニング	<ul style="list-style-type: none"> 国内計量管理制度に係る国際トレーニング NDA*1 (@EC/JRC) 	<ul style="list-style-type: none"> 国内計量管理制度に係る国際トレーニング NDA (@EC/JRC) NEW 少量議定書に係る国際トレーニング 	<ul style="list-style-type: none"> 国内計量管理制度に係る国際トレーニング NDA (@EC/JRC) 	<ul style="list-style-type: none"> 国内計量管理制度に係る国際トレーニング NDA (@EC/JRC) NEW AP*2+CIT*3 	<ul style="list-style-type: none"> 国内計量管理制度に係る国際トレーニング NEW NDA (@ISCN) 少量議定書に係る国際トレーニング
保障措置に係るIAEA査察官トレーニング	<ul style="list-style-type: none"> 再処理施設での保障措置に係るトレーニング 	<ul style="list-style-type: none"> 再処理施設での保障措置に係るトレーニング IS for JNC-1*4 	<ul style="list-style-type: none"> 再処理施設での保障措置に係るトレーニング DCVD*5 	<ul style="list-style-type: none"> 再処理施設での保障措置に係るトレーニング 	<ul style="list-style-type: none"> 再処理施設での保障措置に係るトレーニング
二国間協力	<ul style="list-style-type: none"> タイAP+CIT イランSG*6 	<ul style="list-style-type: none"> 当該年度中に決定 イランSG 	<ul style="list-style-type: none"> 当該年度中に決定 当該年度中に決定 	<ul style="list-style-type: none"> 当該年度中に決定 当該年度中に決定 	<ul style="list-style-type: none"> 当該年度中に決定 当該年度中に決定

 : JAEA,ISCN以外 (IAEA,現地国等) の寄与
 : JAEA,ISCNの寄与
NEW : ISCNで初めて扱うコース

- 1 NDA : 非破壊分析フォローアップトレーニング
- 2 AP : 追加議定書申告に関するワークショップ
- 3 CIT : 大量破壊兵器物資識別に係るトレーニング
- 4 IS for JNC-1 : JNC-1サイト施設に対する統合保障措置適用に向けた査察官トレーニング
- 5 DCVD : デジタルチェレンコフ光表示デバイスによる使用済燃料検認査察官トレーニング
- 6 SG : 保障措置に係るワークショップ

大学における核不拡散・核セキュリティ教育への支援・協力

現状と課題

国際的な動向

大学における核不拡散・核セキュリティ教育の重要性は国際的に強く認識されている。



・IAEAを中心に修士課程コースの開発



国際核セキュリティ教育ネットワーク

現状

核不拡散・核セキュリティ分野を指導できる専門家が日本にほとんどいない。また国内において核不拡散・核セキュリティを学べる専攻はほとんどない。

原子力専攻等の既存専攻で核不拡散・核セキュリティ講義実施大学
 ・世界：50以上
 ・日本：東工大、ISCN連携事業



修士課程実施国：10

ISCNと大学の連携

ISCN：核不拡散・核セキュリティに関する国際的な普及啓発、文化の醸成等に継続的に取り組む。

大学：学部・大学院の学生や研究生レベルへの人材育成を行い、持続的な核不拡散・核セキュリティの確保に貢献する。



ISCNと大学等との連携が必要
 拠点機能、拠点間ネットワークの構築
 (作業部会中間とりまとめ)

目的

- ✓ 大学における核不拡散・核セキュリティ教育の教員育成・カリキュラム開発支援
- ✓ 核不拡散・核セキュリティ教育の重要性を認識する文化の醸成



- ✓ 世界に通用する専門家及び技術研究者の育成
- ✓ 同分野を学ぶことの必要性の認知度向上
- ✓ 核セキュリティ文化の醸成
- ✓ 国内外の大学等とのネットワーク構築

概要

従来の大学連携

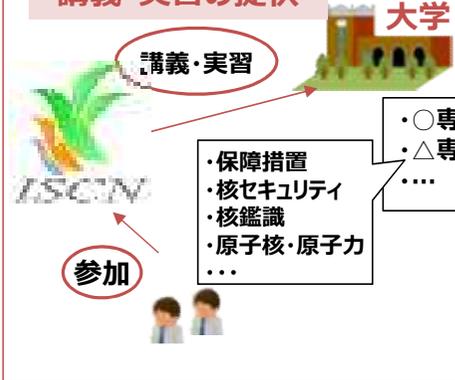
大学連携の拡充

H24年度 ~

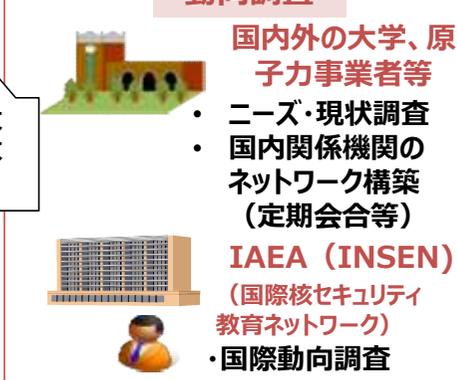
H31年度 ~

H34年度 ~

講義・実習の提供



動向調査



啓発・アウトリーチ



講師育成・カリキュラム開発支援



継続

大学における核不拡散・核セキュリティ教育への支援・協力 (2)

人材育成プログラムと人材受け入れ側のニーズのマッチング

動向調査

- ✓ 国際核セキュリティ教育機関ネットワーク (INSEN) 及び国内外の大学における本分野の人材育成に関する最新動向の調査
- ✓ 人材の受け入れ先となる産業界、学界、国際機関及び関係省庁等の人材ニーズの調査
- ✓ 大学における本分野の人材育成プログラム開発能力に関する調査

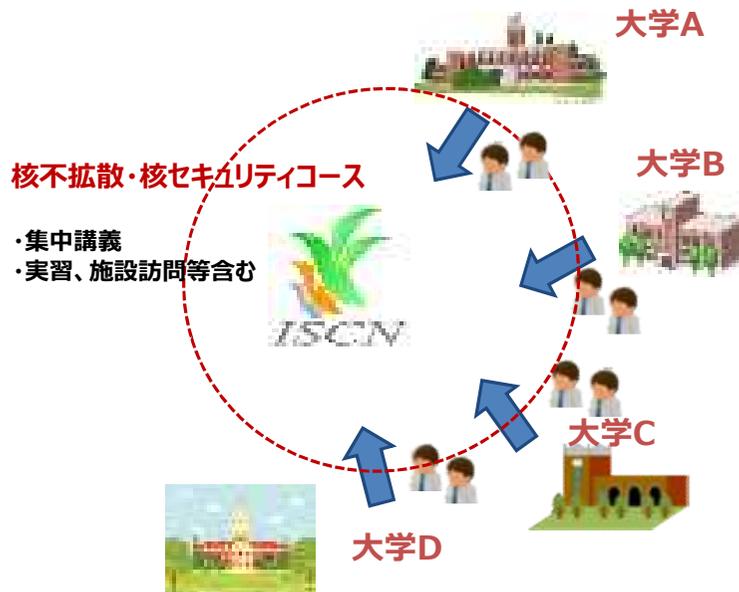
啓発・アウトリーチ

- ✓ 国内外からの有識者を招へいた関係機関を集めたシンポジウムの開催
- ✓ 産業界、学界のイベントにおけるアウトリーチ

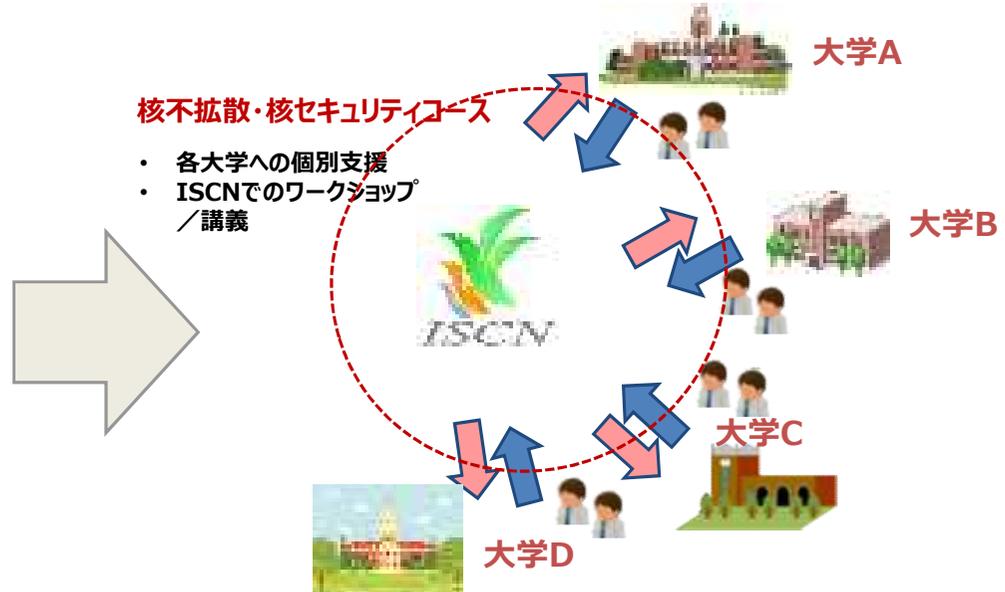
関係機関のネットワーク構築



ISCNリードの学生受入連携



各大学でのカリキュラム開発・教員育成支援



人材育成支援設備の整備・保守

現状

核物質防護実習フィールド設備

原子力施設で実際に使用される主要なセキュリティ機器（侵入検知センサー、カメラ・ビデオシステム）を配備し、機器の基本性能、セキュリティシステムデザイン、性能試験手法等をより実践的に学ぶことができる。



バーチャル・リアリティ・システム

実際の原子力施設では核セキュリティ措置について学ぶことが出来ない。実践的で体験・参加型の学習環境を実現するためのトレーニング環境を構築し、3Dに再現された仮想原子力施設における核セキュリティ体制又は物理的防護システムの特徴を効果的に学ぶ。



目的

- ✓ 最新の核物質防護設備を取り入れ、効果的な核物質防護実施フィールドを維持する。
- ✓ コンテンツの改良を継続するとともに、VRシステムが常に稼働できる環境を維持する。



- ✓ PP/SG用のNDA設備機器の導入
- ✓ VRシステムのOS、PC等の更新対応

概要

トレーニングツール開発整備

VRシステムのPC,OS等の更新

NDA実習設備の整備

H23年度 ~

H31年度 ~

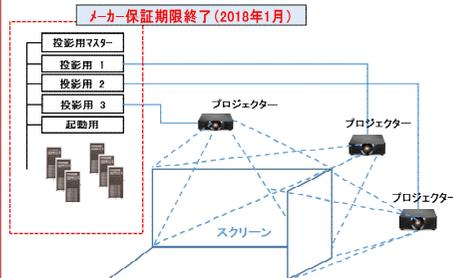
H33年度 ~

最新設備・VR内容の導入



ハードウェア (PC) の更新

メーカー保証期間終了に伴う更新



ソフトウェア (OS,コンテンツ) の更新

OS更新、作り直しコンテンツ

ISCN開発コンテンツ(～2014年) 作り直しコンテンツ内容	ISCN開発コンテンツ(2015年～) 継続使用
Windows7のみ対応3D描画ソフト 廃止	Windows10対応3D描画ソフト 継続使用
OS(Windows7→10への更新)	
ハードウェア(PCの更新)	

SG用のNDA設備機器の導入

Geガンマ線NDA

中性子同時計数NDA



核物質の同位体組成比を測定する

Geガンマ線NDAで測定した同位体組成比情報と合わせて核物質内に存在するプルトニウムの量を測定する

→ 継続

技術開発の取組

ISCNの核不拡散・核セキュリティ技術開発

- 平成22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（平成27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（平成28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。

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、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。

技術開発年度展開(中期計画)

	H23,24	H25,26	H27 (2015)	H28 (2016)	H29 (2017)	H30 (2018)	H31 (2019)	H32 (2020)	H33 (2021)	H34 (2022)	H35 (2023)
核不拡散技術開発	▼		▼								
使用済み燃料集合体Pu非破壊分析(NDA)技術実証試験	ふげん使用済み燃料集合体での技術試験										
He3代替中性子検出技術開発	▼		★	▼							
溶融燃料中核物質測定技術開発	▼		★	▼							
	(NRTA、PGA、NRCA法) ※1										
アクティブ中性子NDA技術開発				要素技術開発 (DDA、DGA、NRTA、PGA法) ※2			高放射線核物質測定要素技術開発 (1) 統合装置技術開発 (DDA、NRTA、PGA) (2) 実装型遅発ガンマ線分析 (DGA) 非破壊測定システム開発 (3) レーザー駆動中性子源の開発 (NRTA)				
先進プルトニウムモニタリング技術開発				JAEA東海再処理施設 (高レベル廃液タンク他) で実施			★				
核セキュリティ技術開発	▼		▼								
核鑑識技術開発	基本的な鑑識技術の整備		鑑識技術の高度化				革新的な核鑑識技術開発基盤研究				
	核・放射線テロ後の鑑識技術										
レーザー・コンプトン散乱ガンマ線非破壊測定技術開発	▼		★	▼			※3				
	高輝度単色X線発生実証 (KEK・ERL施設利用)										
核共鳴蛍光-NDA技術実証試験				単色ガンマ線利用検知実証試験					★		
魅力度評価研究							評価項目の拡張・一般化				★

※1、2 NRTA、PGA、NRCAについてはp29で説明

※3 H31年度中に外部評価を受け、以後の展開について検討予定

核不拡散・核セキュリティ技術開発における国際協力

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

日米核セキュリティ作業部会の下、核セキュリティの脅威について包括的に核物質等の魅力度の評価手法を開発



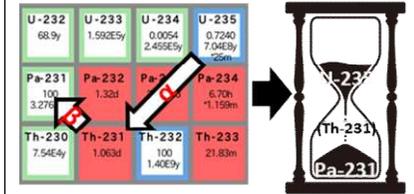
注：①は対象外

評価手法、指標等の開発を共同で実施

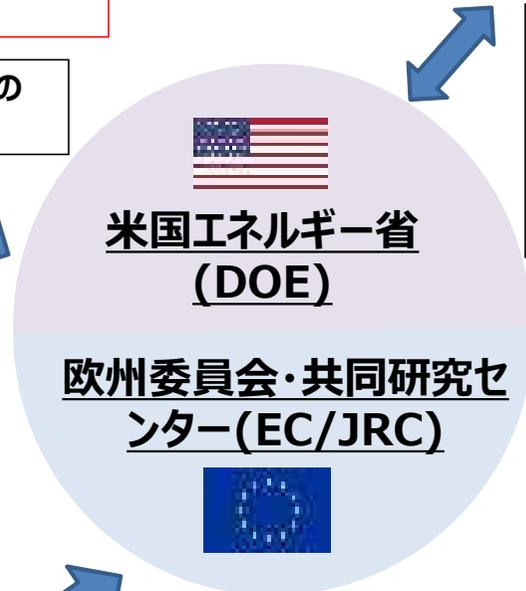
核鑑識技術開発

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 (H28年度~H30年度)
- ・新ウラン年代測定法の開発 (H28年度~H30年度)
- H24年度~H27年度：4件の共同研究を実施



(新ウラン年代測定法)



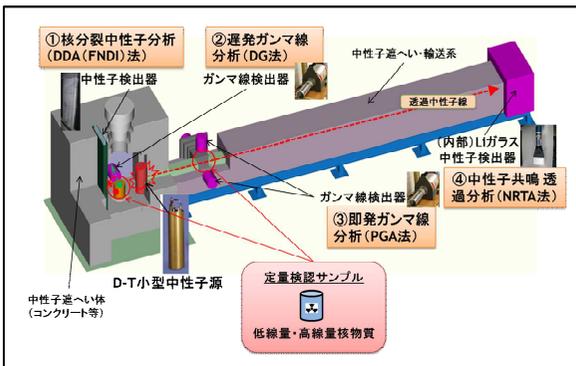
核鑑識国際技術作業部会 (ITWG)

- ・国際共同試料分析演習
- ・核鑑識ライブラリ国際机上演習

- ・ウラン年代測定法等の共同試料分析評価 (H29年度~H30年度)
- ・他、情報交換を含む核鑑識技術開発全般の協力を実施 (H24年度~)

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



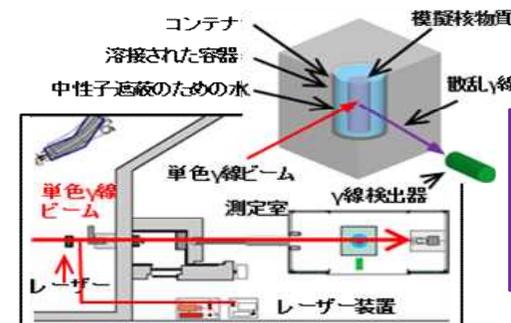
JRC-Geel: GELINA



JRC-Ispra: PUNITA

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

核不拡散・核セキュリティ技術開発

1. 核鑑識技術開発
2. 核共鳴蛍光（NRF）-非破壊測定（NDA）技術開発
3. アクティブ中性子非破壊測定技術開発
4. 核セキュリティ事象における魅力度評価に係る研究

平成31年度 事業計画

「原子力機構 核不拡散科学技術フォーラム（平成30年3月20日）」及び「文科省 核不拡散・核セキュリティ作業部会（平成30年4月5日）」において、本分野の有識者に報告し、ご議論いただいた計画に基づき実施する

※以下のページ、各技術開発の図中、 （赤い四角）で表示されている部分がISCNが開発するもの

（青い四角）で表示されている部分はISCNの技術開発を基にメーカー等が開発することが期待されるもの

（黒い四角）で表示されている部分はH34年度以降・H36年度以降のISCN技術開発計画

1.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実用化（社会実装）に向けて以下を実施。

- ✓ 従来からの技術開発を基に、人間よりも迅速・客観的な核鑑識分析・解析を行う人工知能(AI)解析技術開発など革新的な核鑑識技術を開発(核物質や放射性物質を用いたテロ事象前を対象)
- ✓ 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

(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：犯罪行為等に使わ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

【参考1】 実施計画

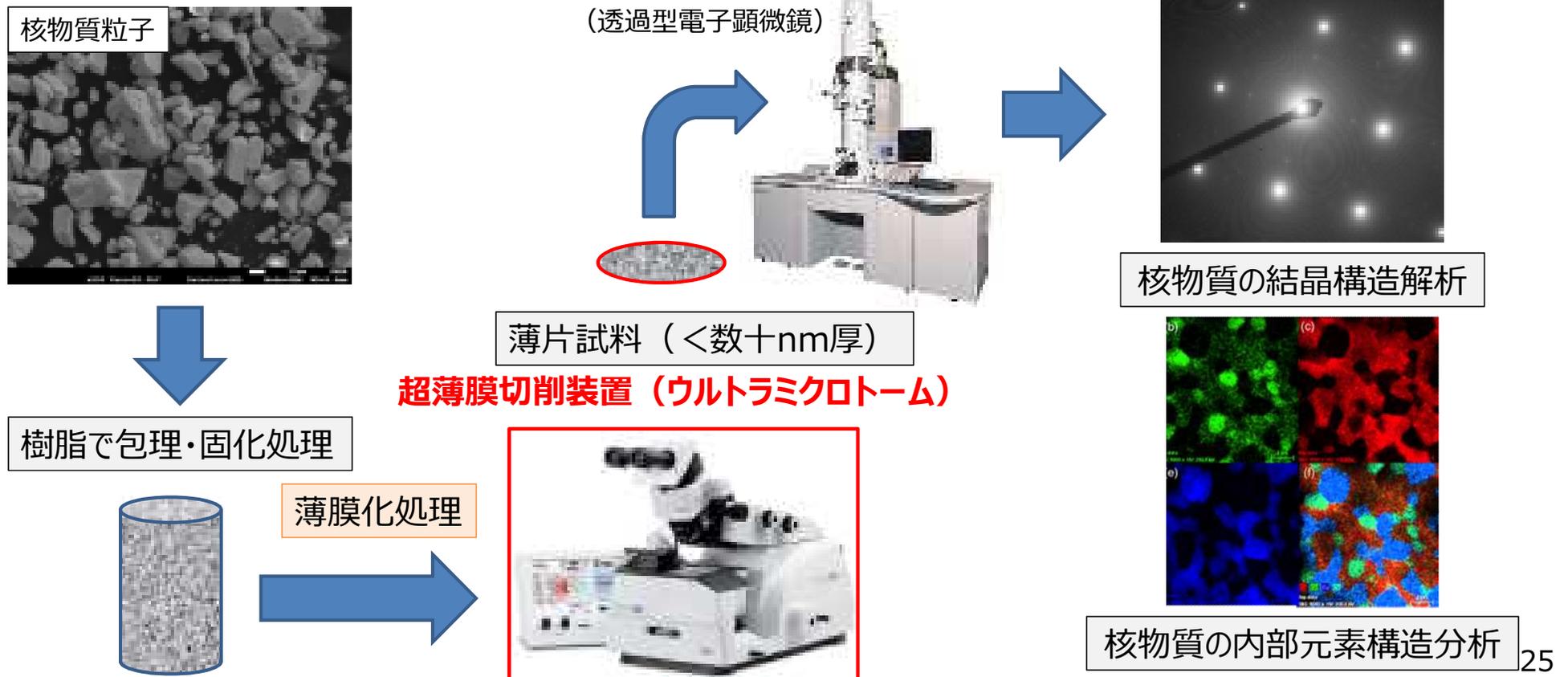
	H30年度	H31年度	H32年度	H33年度	H34年度	H35年度	
	実施計画	Check&Review				Check&Review	
核・放射性物質テロ事象前核鑑識技術	核鑑識技術の高度化	革新的核鑑識技術の基盤研究					
	新しいウラン精製時期測定法	数値データ解析用AI要素プログラム開発	画像・スペクトルデータ解析用AI要素プログラム開発	AI要素プログラムを統合した解析システム設計・開発	AI要素プログラムを統合した解析システム開発	実データによる解析システムの性能評価	
	核物質粒子形状異同識別解析手法	超薄膜化処理装置（ウルトラマイクローム）による薄膜化処理方法検討	試料薄膜化技術開発	・模擬核物質による試験 ・（計画）DOE-JAEA共同研究（薄膜化処理技術の比較）	・処理技術比較	・処理技術の信頼性検証	
		技術開発のための環境整備（放射線画像化プレートのスキャナー装置購入）	放射性物質分布画像化技術の適用性検討	小型画像化装置設計	小型画像化装置開発	小型画像化装置性能評価	
				（計画）レーザーを使用した新しい同位体・不純物分析技術 （大学、DOE、EC-JRCとの共同研究に基づいた技術開発）			
核・放射性物質テロ事象後核鑑識技術	テロ使用前核物質の特徴解析技術	重要核種の検討	特徴解析手法の検討	特徴解析手法の開発			
	現場残留核物質・放射性残留物の検出・回収技術開発	検出技術開発のための環境整備（検出器・ソフトウェア）	・標準試料測定試験 ・信号処理解析手法の設計	・信号処理解析手法の開発 ・核物質測定試験	放射性残留物分布画像化装置設計・開発	・画像化装置の信号解析手法開発 ・放射性残留物遠隔回収装置設計	
	現場採取物質の分析技術開発	土壌等からの核種分離精製手法開発	核種分離精製手法開発 分離精製した核種の分析手法開発	核種分析手法開発	現場採取物質を模擬試料作成のための調査・検討	現場採取物質を模擬試料作成	模擬試料の分析試験と分析手法の信頼性検証
		爆発による高温・高圧環境下での核・放射性物の特徴変性の特性解明のための分析試験（高度化技術を応用した研究開発）					
		分析試験のための予備調査（分析対象と手法）	変性特性解明のための分析試験	変性特性のまとめ及び追加試験			

【参考2】革新的な核鑑識技術の基盤研究

- ① 人工知能（AI）を用いた核物質の特徴解析技術 ② 微細構造分析試料薄膜化処理技術
 ③ 核鑑識試料中の放射性物質分布画像化技術
- 核鑑識への適用事例が無いまたは少ない革新的技術の基盤研究によって核鑑識分析の信頼性の向上及び迅速化に加えて、社会実装に向けた警察等からのニーズを踏まえた核鑑識技術の実現を目指す。また、適用技術の多様化により核鑑識ラボネットワークの構成に寄与する。

（例）② 微細構造分析試料薄膜化処理技術

核鑑識における核物質異同識別のための特徴を拡充し分析結果の信頼性を向上させることを目的とし、核鑑識への適用事例が少ない核物質の結晶構造、内部元素構造などの微細構造分析技術を開発する。



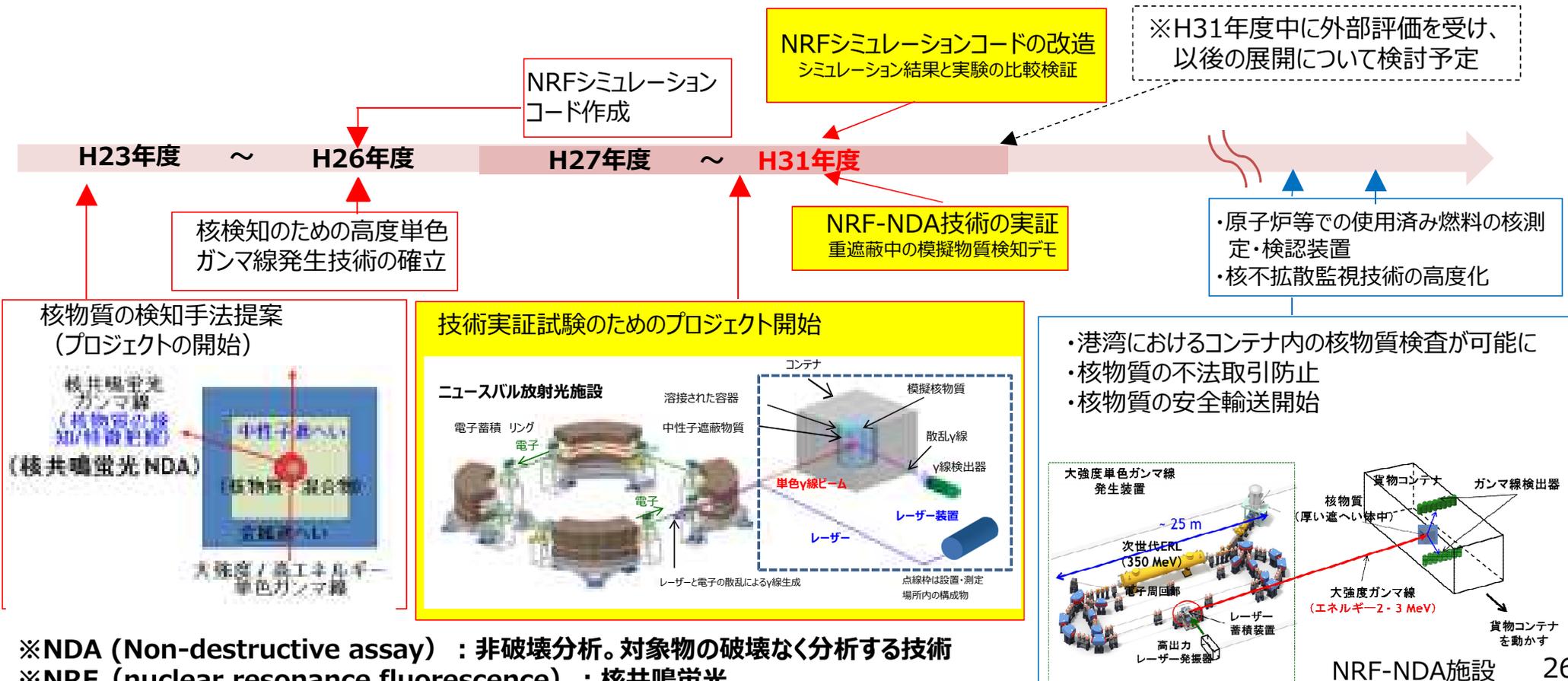
2.核共鳴蛍光(NRF)-非破壊測定(NDA)技術

実証試験

概要

特定のエネルギーを持つガンマ線を照射すると、特定の原子核がガンマ線を吸収・放出する。この現象（核共鳴蛍光）を利用して、対象物を破壊することなく隠された核物質を探し出す技術を開発する。

- ✓重遮蔽物（コンテナなど）の中に隠された核物質を外部から検知する技術を確認するため、技術的な実証試験をニューバル放射光施設で行う。
- ✓実用装置の設計に使用するため、シミュレーションコードを改造し、Duke大学（米国）で得られるガンマ線ビームを用いて得られた実験結果との比較を行う。



※NDA (Non-destructive assay) : 非破壊分析。対象物の破壊なく分析する技術

※NRF (nuclear resonance fluorescence) : 核共鳴蛍光

※シミュレーション : コンピューターの仮想空間で各要素について物理法則に従った現象を起こし、全体として起きる現象を調べる手法

【参考】 実施計画

開発項目	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度
核共鳴蛍光散乱 非破壊測定 実証試験		実証実験準備 レーザー・コンプトン散乱用レーザー装置の整備（ガンマ線ビーム発生装置の整備）			実証実験
		核共鳴蛍光散乱ガンマ線を検出する装置の整備			（遮蔽物内に隠蔽された模擬試料が検知できることを実証）
		実証試験用 模擬燃料、模擬燃料駆動装置などの整備			装置整備
核共鳴散乱 シミュレーションコードの 改良		核共鳴蛍光散乱シミュレーションコード作成			
					コード検証実験 （Duke大学（米国）において実験を行い、シミュレーション結果と比較する）

★ニュースバル施設（兵庫県立大学）での実証実験

★ Duke大学（米国）での測定実験
（シミュレーション開発のため比較データ測定実験）

3. アクティブ中性子非破壊測定技術開発

外部から中性子を照射して核反応で放出される中性子やガンマ線などを測定する手法（下表参照）を用いたアクティブ中性子非破壊分析技術開発を進めるため、以下の3つの技術開発を実施する。

- (1) 統合装置技術開発
- (2) 実装型遅発ガンマ線分析非破壊測定システム開発
- (3) レーザー駆動中性子源開発

開発技術で用いるアクティブ中性子法

（中性子を対象物に照射してその反応を調べ、対象物を非破壊で測定する技術）

開発技術で用いる手法	手法の説明	測定量	開発技術
DDA (ダイアウェイ時間差分析) (Differential Die-away Analysis)	中性子で核分裂を誘発し、核分裂に伴って放射される中性子を測定することにより核分裂性物質 (^{235}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu) の総量を求める技術。	核分裂性核種の総量 (^{235}U , $^{239,241}\text{Pu}$)	(1)
NRTA (中性子共鳴透過分析) (Neutron Resonance Transmission Analysis)	中性子を試料に透過させると、核種特有の中性子エネルギー（共鳴エネルギー）での透過率が下がる。中性子エネルギーごとの透過率を中性子飛行時間法により測定し、それによって核物物質の核種ごとに定量する技術。	核種量 ($^{235,238}\text{U}$ 、 $^{238,239,241,242}\text{Pu}$ 核種毎)	(1) (3)
PGA(即発ガンマ線分析) (Prompt Gamma-ray Analysis) ※NRCAも同じ	原子核が中性子を捕獲すると、即座に核種に特有なガンマ線を放出する。このガンマ線を測定して、試料に含まれる物質を調べる技術。	爆薬・中性子吸収剤、毒物 などの混在物質検知 (N、As、Bなど)	(1)
DGA (遅発ガンマ線分析) (Delayed Gamma-ray Analysis)	中性子で核分裂を誘発し、核分裂生成物からの崩壊ガンマ線を測定する。もとなる核分裂性核種によりガンマ線スペクトルのパターンが異なることを利用し、核分裂性核種 (^{235}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu) の組成比を決定する技術。	核分裂性核種の組成比 (^{235}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu)	(2)

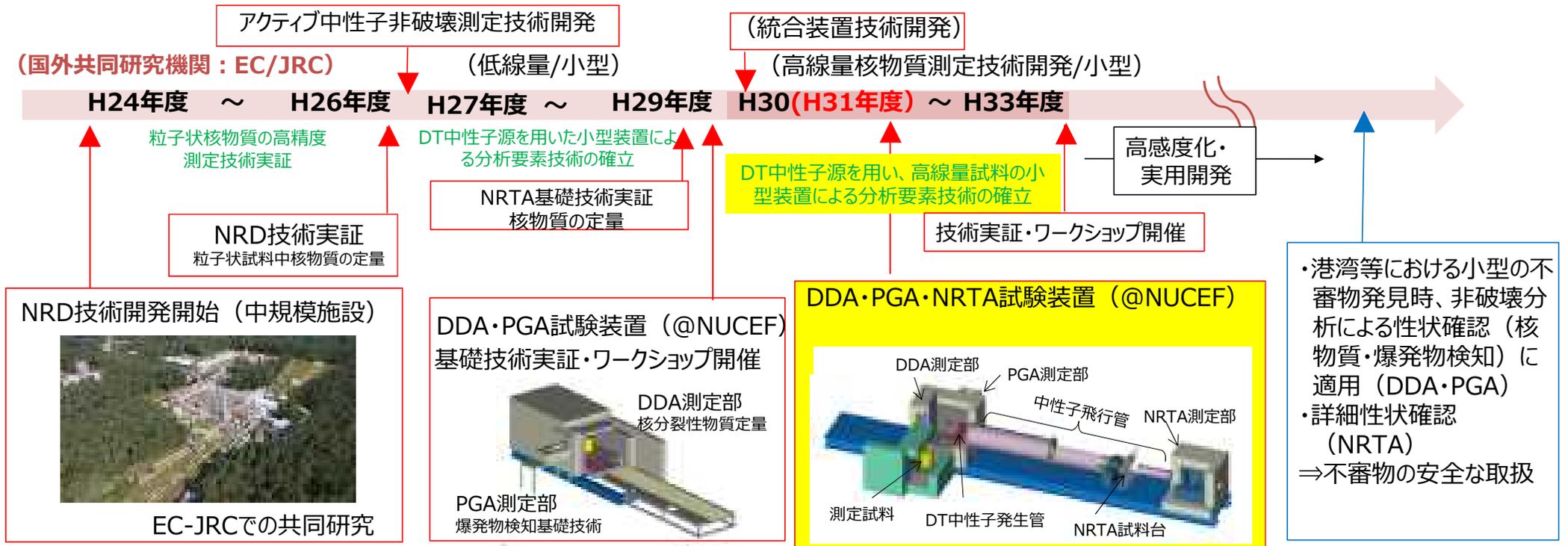
3. (1) 統合装置技術開発

概要

中性子発生装置（DT中性子源）を使い、3つのアクティブ中性子非破壊測定技術を組み合わせ、総合的な分析ができるコンパクトな装置（統合装置）を開発する。

※3つのアクティブ技術：DDA法（核分裂性物質量の測定）、PGA法（対象物中の元素分析）、NRTA法（核物質などの核種量分析）

- ✓ 再処理工場などで高線量の核燃料物質を非破壊測定する技術を開発するため、日欧の協力の下に、D-T中性子源を用いた統合装置を開発する。
- ✓ 本技術は、核セキュリティ分野へも適用も可能な技術である
（核物質があるかどうか（検知）、どのような種類の核物質で爆発物等が含まれるか（不審物の性状検査）、どのくらい核分裂性核種があるか（核兵器物質の量的把握））
- ✓ H31は統合装置の一部を製作し性能試験を行う。



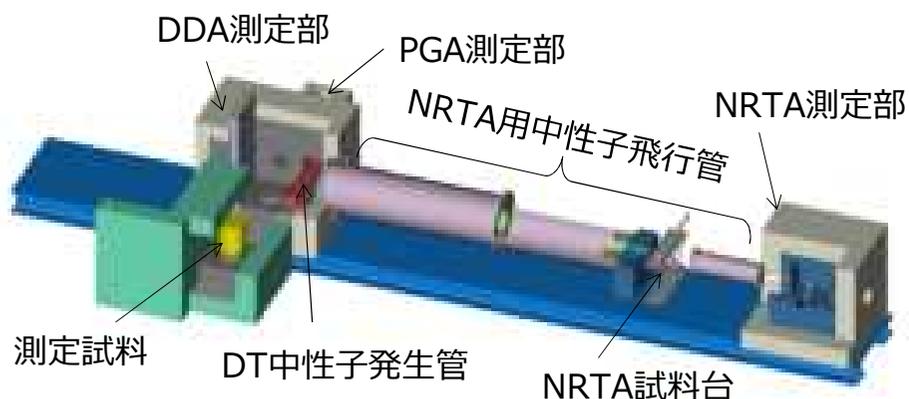
※アクティブ中性子非破壊分析法：中性子を対象物に当ててその反応を調べ、対象物を非破壊で測定する技術

※DT中性子源：二重水素（D, ²H）イオンを加速し、三重水素（T, ³H）に衝突させて中性子を発生させる小型装置。放射性物質（T）を使用している。

開発項目	H30年度	H31年度	H32年度	H33年度
(1) 統合装置技術開発	要素技術開発・装置開発			実証実験 →★
	統合装置基礎部開発 測定システム開発	DDA,PGA本体製作 中性子検出器開発	NRTA本体製作 NRTA検出器製作	性能向上のための改造 NRTA検出器開発

★ ワークショップ、実施試験などによる成果公開

統合装置概念図



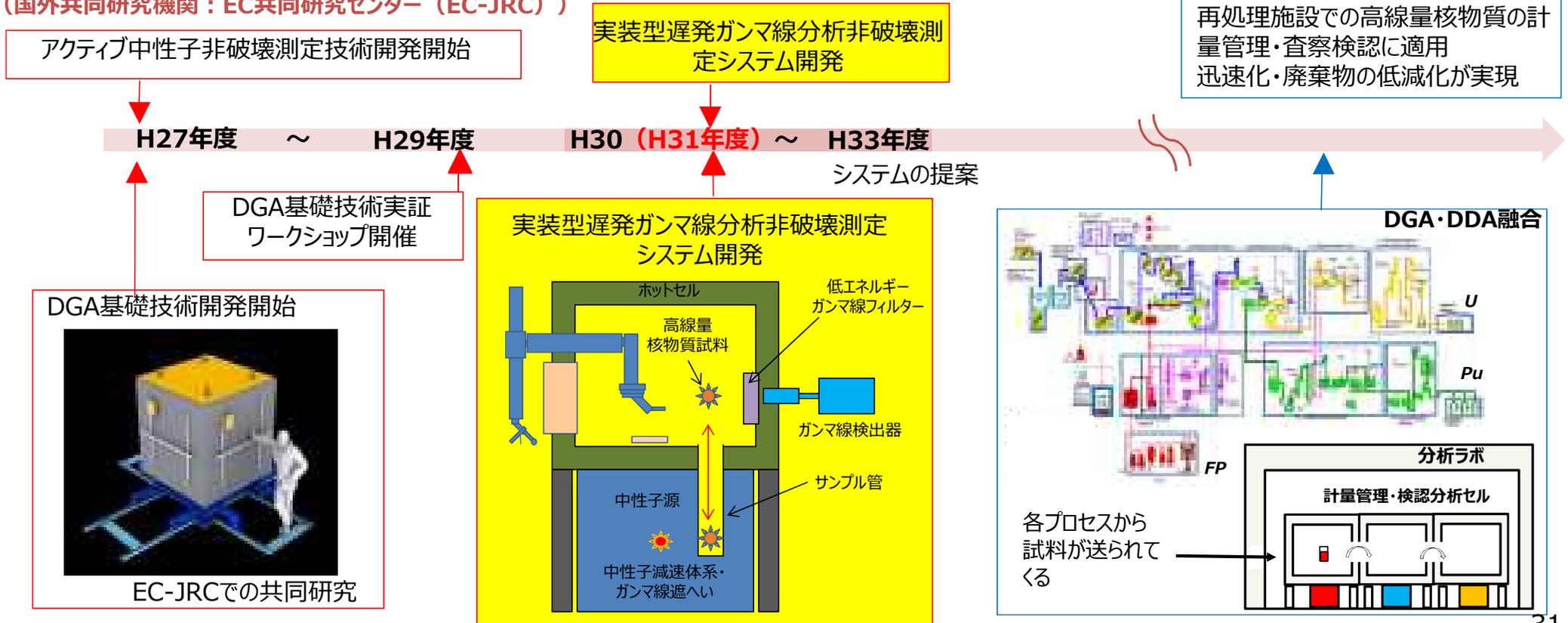
3.(2) 実装型遅発ガンマ線分析非破壊測定システム開発

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認し、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法による技術開発を行う。

- ✓ 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。
- ✓ H31は既存装置を改造して基礎試験を行う。また、EC-JRC（Geel研究所）の施設（ベルギー）において、装置に最適な材質や構造等を決定するための試験を行う。
- ✓ 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）を導入することを希望する。

(国外共同研究機関：EC共同研究センター（EC-JRC）)



※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。

	H30年度	H31年度	H32年度	H33年度
(2) 実装型遅発 ガンマ線分析非破壊測定システム開発	減速系・測定系開発試験			確認試験
	(低線量核物質・模擬高線量核物質を使用して測定技術を開発する)			(高線量核物質を使用して、本技術開発を試験する)
	EC-JRC Ispra研究所			
	装置の高感度化			(EC-JRC Ispra研究所または、Karlsruhe研究所において、実際の高線量核物質を使用した試験を行い、本開発で得られた技術が有効であることを確認する。)
(主に既存の装置を用い、測定時間や、実験に用いる中性子強度を変化させながら、得られる信号の強さを調べる。)				
EC-JRC Ispra研究所				
装置の小型化				
(実装する装置を小型化するために、DD中性子源導入、装置改造など行う)				
EC-JRC Geel研究所				
装置材料（減速・反射材）の最適化				
(測定装置を構成する材料として、最適なものを選ぶため、構造材の材質を変えながら、DDおよびDT反応で生じた中性子の模擬装置内での挙動を調べる)				

EC-JRC: 欧州委員会共同研究センター
 Ispra研究所 (イタリア)
 Karlsruhe研究所 (ドイツ)
 Geel研究所 (ベルギー)

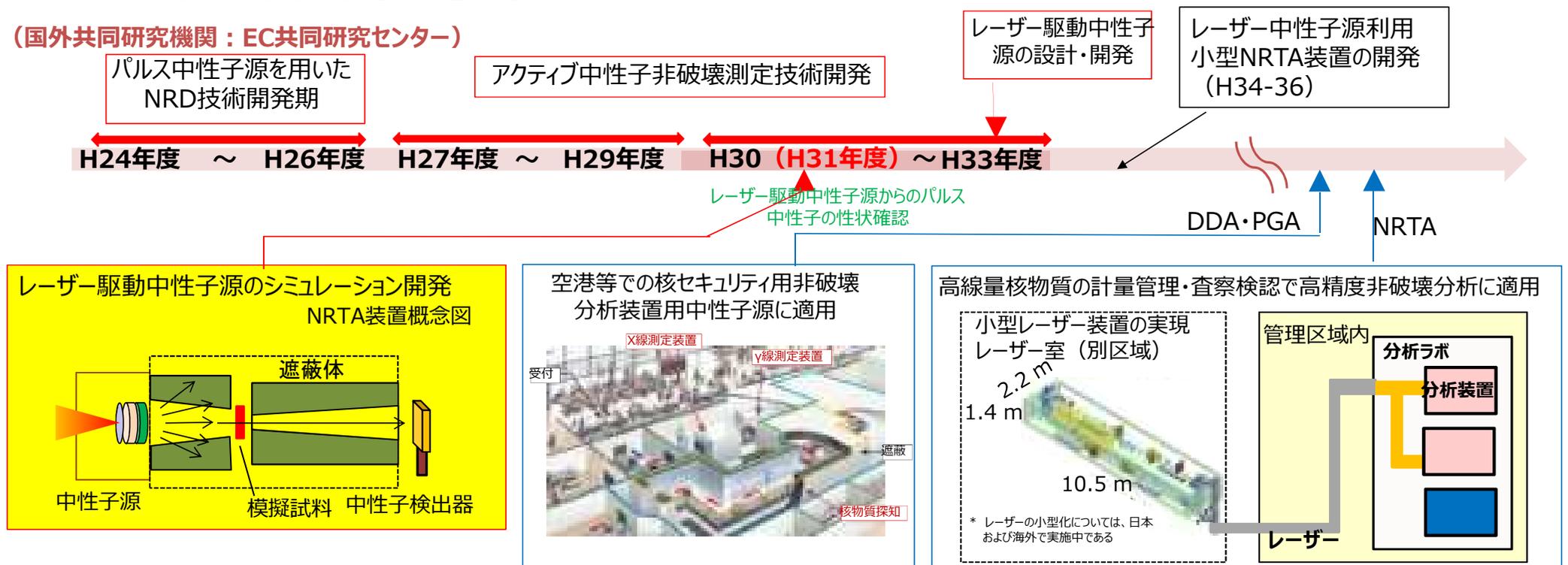
3. (3) レーザー駆動中性子源開発

概要

レーザー駆動中性子源は、レーザーを照射して中性子を発生する近年注目されている新しい中性子源で、パルス幅が短いことに特徴がある。再処理工場の溶解燃料等、高い放射能を発生する核物質試料を高精度に測定するため、アクティブ中性子非破壊測定装置（中性子共鳴透過分析（NRTA）装置）に使える中性子源の基礎技術開発を行う。なお、レーザー光をミラーで分析装置まで輸送できるため、レーザー施設を別区域に設置可能であり、他の装置に影響なくメンテナンスを行うことができる。

- ✓ H30-31は、レーザー駆動中性子源を設計するため、シミュレーション研究を進める。
- ✓ シミュレーション結果による中性子の挙動を確認するため、測定試験を行う。
- ✓ レーザー実験施設における許認可、実験装置の安全性などを確認した上で、H32年度以降行うかどうかを決定する

(国外共同研究機関：EC共同研究センター)



※ NRTA (neutron resonance transmission analysis) : 核物質などの核種量分析を行う。高精度な測定には狭い中性子パルス幅が必要。

※シミュレーション: コンピューターの仮想空間で各要素について物理法則に従った現象を起こし、全体として起きる現象を調べる手法

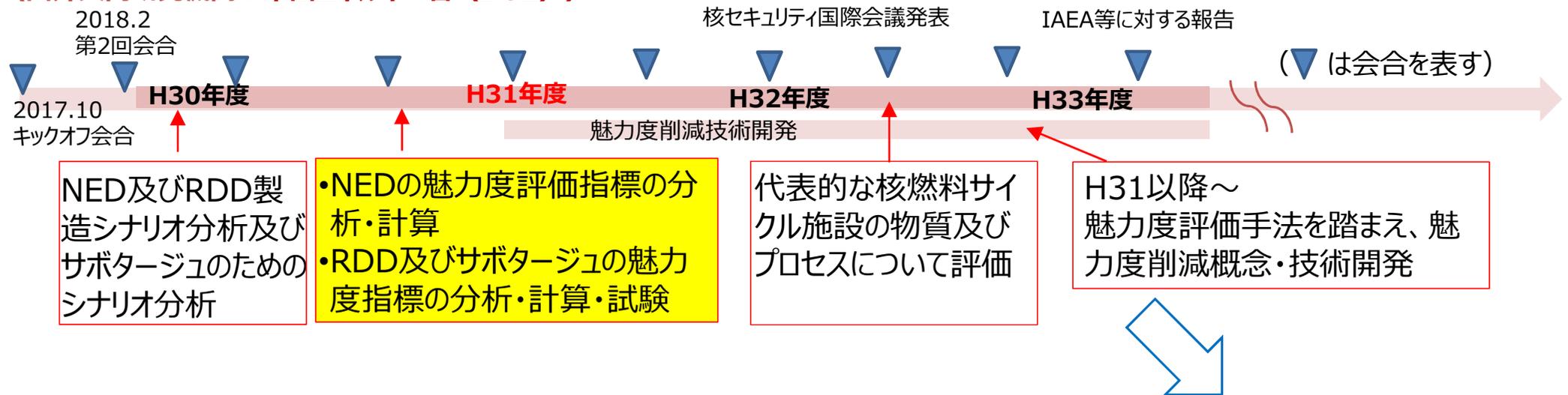
	H30年度	H31年度	H32年度	H33年度
<p>(3) レーザー駆動中性子源開発 (中性子の発生を増加させるためのレーザー照射ターゲットおよび減速材の最適化)</p>	シミュレーションによる中性子源設計研究			
	基礎的な中性子挙動シミュレーション	装置設計に必要な中性子の挙動シミュレーション		
	中性子検出器による中性子挙動確認試験			
	上記シミュレーションに関する確認試験	上記シミュレーションに関する確認試験	レーザー駆動中性子源の試作・基礎試験	
レーザー実験可能な施設の調査				
レーザー実験施設における許認可、実験装置の安全性などを確認した上で、H32年度以降行うかどうかを決定する				

4. 核セキュリティ事象における魅力度評価に係る研究

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、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。H31は、爆発を想定した高温環境下における核・放射性物質の飛散の状況を想定する挙動分析を実施。
- 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。

（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：核物質や放射性物質がダーティボム（核物質を混入した爆弾）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）：本資料P55参照
- * 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

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

【参考】実施計画

	H30年度	H31年度	H32年度	H33年度
魅力度の 評価・削減	NED及びRDD製造シナリオ分析及びサボタージュのためのシナリオ分析 (日米両国)			
	(キックオフ・技術開発 要点の明確化)	(シナリオ分析・それを 基にした指標の開発)	(NED解析の指標へ の取り込み)	(RDD実験・サボター ジュ解析の指標への 取り込み)
		NEDの魅力度評価指標の分析・計算 & RDD及びサボタージュの魅力 度指標の分析・計算・試験 (日本)		
		(NED分析・計算)	(RDD分析・試験 & サボ タージュ分析・計算)	(追加分析・試験・ 計算)
			仮定の核燃料サイクル施設の物質及びサボ タージュプロセスについて評価 (日本)	
		H31以降～ 魅力度評価手法を踏まえ、魅力度削減概念・技術開発 (日米両国)		
		(開発された魅力度指標を用いて、 様々な施設の燃料を対象に評価)		
		(開発課題の明確化)		

参考資料

核不拡散・核セキュリティ関連業務の評価 内容

核不拡散・核セキュリティ関連業務の評価内容抜粋(1)

	概要	課題・改善すべき事項
「事前評価」 平成22年8月	「アジアの核セキュリティ強化のための総合支援センターの設置」、「核物質の測定、検知及び核鑑識にかかる技術開発」を行い、国際的な核セキュリティの強化に貢献することは、必要性・有効性・効率性の観点から妥当。	効率化 • 既存のリソースの活用（JAEAの人材、設備）。 • 国際協力によるリソースの共有。 • 各省庁との連携により推進。

核不拡散・核セキュリティ関連業務の評価内容抜粋(2)

	概要	課題・改善すべき事項
<p>「中間評価」 平成27年8月</p>	<p>(1)課題の進捗状況</p> <p>PPフィールド・VRシステムを活用し、実地演習を含む実践的なトレーニングを実施（核セキュリティ、保障措置、国際枠組みコース）。</p> <p>以下の技術開発については目標を達成。</p> <ul style="list-style-type: none"> • レーザー・コンプトン散乱ガンマ線非破壊測定 • 使用済み燃料中のプルトニウムのNDA実証 • ヘリウム3代替中性子検出器 • 核鑑識 	<p>アンケート結果を取り入れることにより、研修内容等の改善。PPフィールド・VRシステムといった強みを生かし、他国のセンターとの連携・役割分担の検討。</p> <p>他分野との連携を視野に入れながら効率的に事業を進めること。実用化も念頭に置いて、技術開発（例えば、小型装置等）の検討。</p>

核不拡散・核セキュリティ関連業務の評価内容抜粋(3)

	概要	課題・改善すべき事項
「中間評価」 平成27年8月	<p>(2)再評価と今後の研究開発の方向性</p> <p>核不拡散・核セキュリティ強化に人材育成の観点から貢献することは必要であり、評価項目は妥当。</p> <p>国際的な要請を踏まえつつ、適切なテーマを選択し、技術開発に貢献することが重要。</p>	<p>人材ネットワークの構築、他の支援センターとの連携強化。</p> <p>技術開発で得られた知見等のデータベース化、活動内容の定期的なレビュー、その結果の活動への反映。</p>

核不拡散・核セキュリティ関連業務の評価内容抜粋(4)

	概要	課題・改善すべき事項
「中間・事後評価結果」 平成27年8月	溶融燃料中の核物質測定技術として中性子共鳴透過分析法、即発ガンマ線分析法を開発。	中性子共鳴透過分析法と新たな技術開発を組み合わせ、戦略的に技術開発に取り組むことは有益。
「中間とりまとめ」 平成29年6月	ISCNの実施している人材育成、セミナー等を継続。 俯瞰図を作成し、実施することが重要。日本の強みを活かす。リスク、脅威の分析・評価したうえで研究開発を最適化。サイバーセキュリティ対応。	大学との連携を強化。国際協力の進展。 技術開発成果の共有・展開。関係省庁・関係機関間の連携。

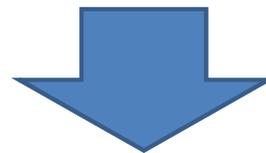
参考資料

技術開発のニーズ

核セキュリティの目的と対象

目的

核物質、その他の放射性物質、その関連施設及びその輸送を含む関連活動を対象とした犯罪行為又は故意の違反行為の防止・検知・対応



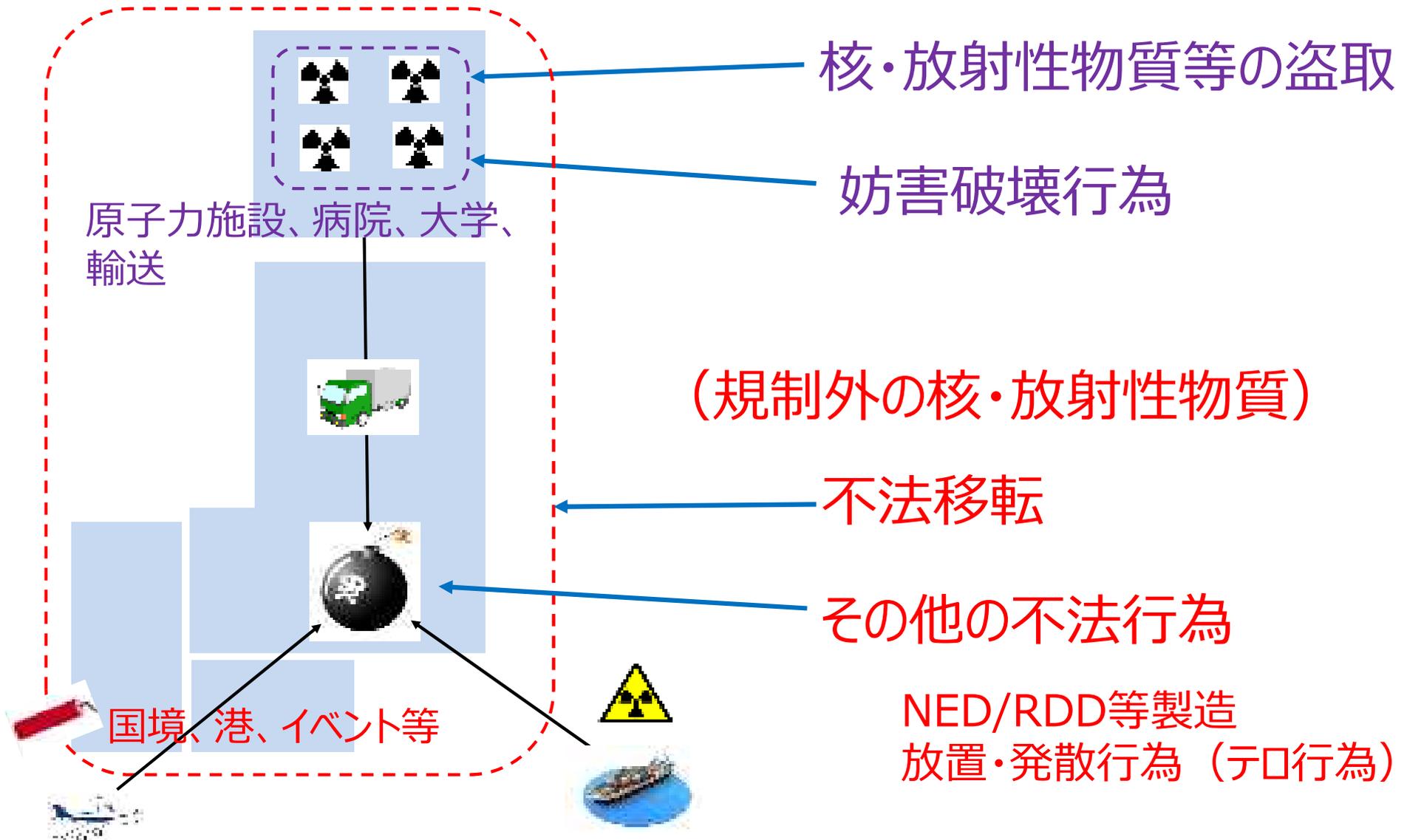
脅威の対象

- 核物質等の盗取
- 妨害破壊行為
- 不法移転
- その他の不法行為

核セキュリティ歴史

- 初期のINFCIRC/225 (“The Gray Book”; 1972)
 - 原子力施設から、核物質を核爆発物質（NED）としての盗取
- その後の改定
 - 原子力施設における妨害破壊行為
 - 輸送中の盗取・妨害破壊行為
 - 放射性物質の盗取（ダーティーボム）
 - 核セキュリティ上の機微情報
 - 規制外の核・放射性物質

核セキュリティの脅威



核セキュリティ分野の国際的な課題・ニーズ

IAEA

核検知装置の主な課題

- 高効率
- 良い分解能
- 専門家以外でも使い易い
- 苛酷な環境における信頼性

核検知に関連する要素

- 対象物の量
- 対象物と測定器の距離
- 測定可能な時間
- バックグラウンド放射能の存在
- 遮蔽物の存在
- センサーの性質

Radiation Portal Monitors (Detection)

RPM: Radiation Portal Monitor installed at border checkpoints (road, rail, airport, seaport) to detect the presence of smuggled nuclear and other radioactive materials



Their main requirement is a **high efficiency**: detect the presence of radioactive material in the short transit time

Many Different Conveyances May Be Used in Nuclear Smuggling



核セキュリティ分野の国際的な課題・ニーズ

DHS/DNDO

核検知技術開発の課題

- 費用対効果
- 重遮蔽された核物質の検知
- 広範囲のモニタリング
- 核検知の対象となる経路の追加
- 核鑑識シグネチャとのリンク

年間6千万ドルの予算で技術開発を実施

Grand R&D Challenges

- Cost effective equipment with sufficient performance to ensure wide spread deployment
- Detection of special nuclear material even when heavily shielded
- Enhanced wide area monitoring and search in a variety of scenarios, to include urban and highly cluttered environments
- Monitoring along challenging GNDA pathways, to include general aviation, small vessels, and in between ports of entry
- Linking nuclear forensic signatures of interdicted materials to a specific processing history and origin



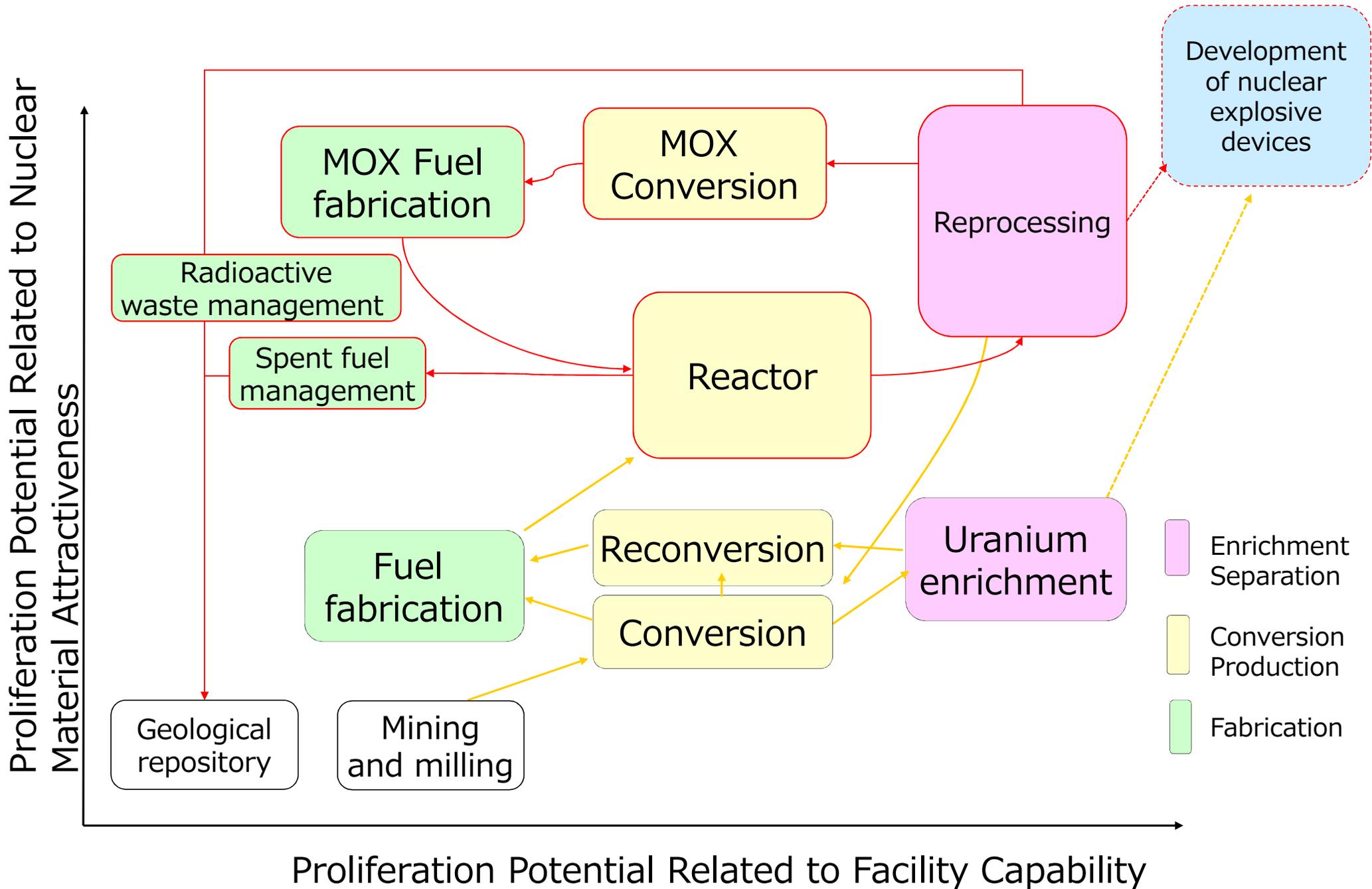
Shielded: Enabling Technology

 <p>Low-dose reaction based gamma-ray source gives material discrimination</p>	 <p>Portable DD neutron generator</p>	 <p>Laser driven attosec to produce near mono-energetic and tunable proton beams</p>
 <p>Tensioned metastable field neutron detector is insensitive to gamma-rays</p>	 <p>Superconducting near continuous wave entry sensor</p>	 <p>Gravity imaging utilizing solid-state gravity sensors</p>
		

参考資料

核不拡散（保障措置）技術開発のニーズ

核燃料サイクルと核拡散の潜在的リスク



IAEA保障措置の課題・ニーズに関する文書

- 中長期的課題
 - IAEA保障措置研究開発計画 (STR – 385)
- 技術目標・マイルストーン
 - 核物質検認のための開発及び実施支援計画(D&IS) 2018–2019 (STR-382)

IAEA保障措置研究開発計画（STR-385）

Top priority R&D needs（全12項目）

T.1 Strengthen Instrumentation Capabilities for Verification

T.1.R6 Develop safeguards equipment to establish and maintain knowledge of spent fuel in shielding /storage/transport containers at all points in their life cycle.

P.5 Prepare for new types of facilities and decommissioning

P.5.R2 Based on the prospects and timing for emerging nuclear fuel cycle facilities (e.g. pyroprocessing plants, geological repositories) develop and deploy as appropriate:

- safeguards concepts
- tools
- techniques
- training

IAEA保障措置研究開発計画 (STR-385)

Table of R&D needs

T.1 Strengthen Instrumentation Capabilities for Verification

T.1.R5 Develop improved tools and techniques to enable real time flow measurements of nuclear material including UF₆ at enrichment plants and conversion plants, and Pu at reprocessing plants.

P.5 Prepare for new types of facilities and decommissioning

P.5.R1 Address identified gaps in facility-specific guidance, training and tools for conducting verification activities during decommissioning

参考資料

魅力度評価技術開発

NSWGの下で魅力度評価・低下の協力

- 日米核セキュリティ作業グループ（NSWG）は、日米間の核セキュリティ分野の協力を促進するため、2010年の日米首脳会談で設立を公表。2011年より、年1回程度、両国間の会合を実施しており、2017年6月に第8回会合を開催。
- NSWGの下で、11分野（ゴール）で協力を実施しており、魅力度評価に関する協力は、Goal 9として実施。従前から実施してきた共同研究のスコープを拡大し、2017年より、魅力度評価の対象に妨害破壊行為や放射性物質（ダーティボムの材料）の盗取を加え、核セキュリティシステムの向上・最適化、保障措置システムの向上・最適化に貢献することを目的に協力を開始。
- 本協力に関連する分野では、日本（JAEA）が核燃料サイクル施設及び保障措置実施の知見を有しており、米国が核兵器、核テロ対策等に関する知見を有していることから、両国の知見を交えて、魅力度評価・魅力度低下に関する概念の共同開発を行っている。

核セキュリティ事象における核物質・放射性物質の飛散挙動を把握し、魅力度評価研究の指標とする。

【H30年度：高圧環境のシミュレーション解析】

- 爆破解析ソフトウェアを用いた核物質デブリ*の飛散挙動解析を行う

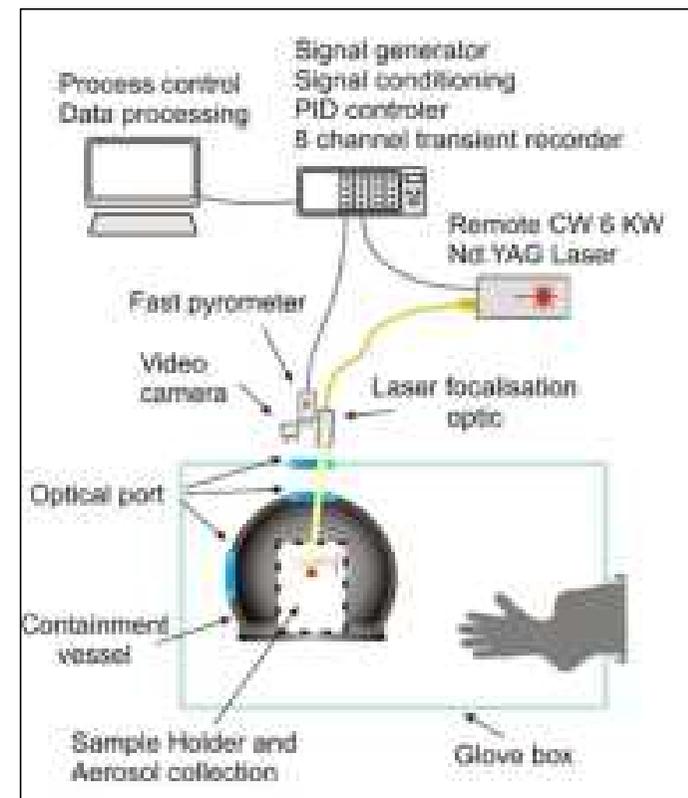
【H31年度：高温環境下における核・放射性物質挙動分析】

- NED・RDD及びサボタージュの魅力度指標の分析・計算・試験として、核・放射性物質からのエアロゾル*の放出挙動を推定する要素実験を行う。
 - 化学爆薬による高温環境をレーザーにより模擬し、ターゲットとなる物質を加熱する。その後、放出されたエアロゾルを捕集装置（カスケードインパクト）にて捕集し、化学形の分析、エアロゾルの形態学的分析を行う。
 - 高温加熱装置、高速放射温度計（物体から出る光を測定することで、物体の温度を測定する装置）、Videoカメラ、カスケードインパクト等を購入する。
 - 超高温環境下の核物質の挙動に関する情報は、どこにも公開されておらず、シミュレーションでも取得することができず、本実験を行う必要があることが明らかになったため。

【H32年度：爆破実験によるベンチマーク】

- 化学爆薬による高温高圧環境を再現し、模擬燃料を爆破することにより、H30およびH31の実験・解析内容のベンチマークとする。

H31年度研究概要



YAGレーザー・カスケードインパクトを用いた実験セットアップの例

Di Lemma, F.G. et al. J. Aerosol Sci., 70, (2014) 36-49

* 核物質デブリ：爆発の衝撃により、核物質が碎け飛び散ったもの。

* 核・放射性物質からのエアロゾル：爆薬による高温環境下で、物質が化学的に変形し、大気拡散しやすい小さな粒子となったもの

参考資料

核測定・核検知技術開発の分類

JAEA/ISCNの核測定・核検知技術開発の分類

(赤字は実施中の技術開発)

実用装置モデル（プロトタイプ装置）開発		実用装置モデル（プロトタイプ装置） 実用化評価技術開発
【タイプ1】コア技術実証	【タイプ2】性能実証	【タイプ3】実用化評価試験
レーザ・コンプトン散乱NRF-NDA 技術開発 (H23年度-H26年度)	代替He-3検出器開発 (H23年度-H26年度)	使用済み燃料中Pu-NDA測定試験 (H23年度～H25年度)
核共鳴蛍光NDA技術開発 (H27年度-H31年度)		先進プルトニウムモニタリング技術開発 (H27年度～H29年度)
溶融燃料中核物質NDA技術 開発 (H24年度-H26年度)		米国からの提案に基づき、JAEA施設を利用した 共同研究
アクティブ法による非破壊検知・測 定技術開発 (I) (H27年度-H29年度)	アクティブ法による非破壊検知・ 測定技術開発 (II) (H30年度-H33年度)	
JAEAの人材・基盤技術等を活用した研究開発		

技術の高度化のための研究開発	核鑑識 (H24年度-H35年度)
概念開発	魅力度評価 (H30年度-H33年度)
基本データを取得する研究開発	核データ (未実施)

JAEA/ISCNの核測定・核検知技術開発の実施範囲

技術開発の実施範囲は以下のように、概ね3つに分類される。

分類	実施範囲
<p>実用装置モデル（プロトタイプ装置）技術開発</p> <p>【タイプ1】コア技術実証</p> <p>【タイプ2】性能実証</p>	<p>【タイプ1】コア技術実証 実用装置モデルのコアとなる技術（プロトタイプ装置の設計・製作に必須技術）の実証試験を行うことにより、装置製作の基盤を確立する</p> <p>【タイプ2】性能実証 実用装置モデル（実際に利用される装置そのものではなく、ベースとなる装置）の製作を行い、性能の実証を行う</p> <p>※世界初等の技術開発で時間を要するものについては、コア技術実証→（プロトタイプ装置）性能実証という2段階に分けて行うこともある</p>
<p>実用装置モデル（プロトタイプ装置）実用化評価技術開発</p> <p>【タイプ3】実用化評価試験</p>	<p>【タイプ3】実用化評価試験 実用装置モデル設計のために、当該技術を評価する装置により試験を行い、データを取得し、当該技術の実用化の可能性を評価する</p>
<p>核測定・核検知開発上必要となる基本データを取得する研究開発</p>	<p>核測定・核検知技術開発の上で、世界的に不足している基本データ（核データ等）を取得するための試験装置を製作し、データを取得する</p> <p>※この分類の開発はまだ実施していない</p>

JAEA/ISCNの核測定・核検知技術開発実施プログラムと分類

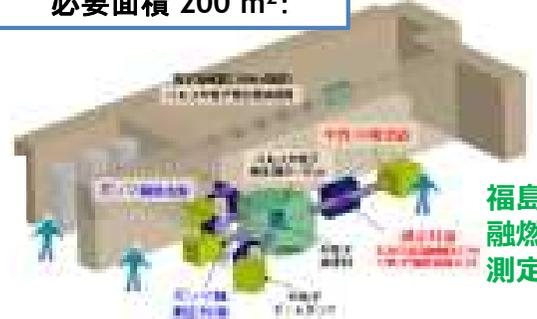
(太字はH30年度に実施中のもの)

これまで実施してきた技術開発と分類は以下の通り

大分類	プログラム	タイプ
実用装置モデル（プロトタイプ装置）開発 【タイプ1】コア技術実証 【タイプ2】性能実証	レーザ・コンプトン散乱ガンマ線非破壊測定技術開発 (H23年度-H26年度)	【タイプ1】 コア技術実証
	He-3代替検出器開発 (H23年度-H26年度)	【タイプ2】 (プロトタイプ装置) 性能実証
	溶融燃料中核物質測定技術開発 (H24年度-H26年度)	【タイプ1】 コア技術実証
	核共鳴蛍光非破壊分析 (NDA) 技術実証試験 (H27年度-H31年度)	【タイプ1】 コア技術実証
	アクティブ中性子非破壊測定技術開発 (I) (H27年度-H29年度)	【タイプ1】 コア技術実証
	アクティブ中性子NDA技術実証試験 (II) (H30年度-H33年度)	【タイプ1】 コア技術実証 【タイプ2】 (プロトタイプ装置) 性能実証
【タイプ3】実用装置モデル (プロトタイプ装置) の実 用化の可能性を評価する 技術開発	使用済み燃料集合体Pu-NDA技術実証試験 (H23年度-H25年度)	【タイプ3】 適用性評価 (タイプ3開発)
	先進プルトニウムモニタリング技術開発 (H27年度-H29年度)	【タイプ3】 適用性評価

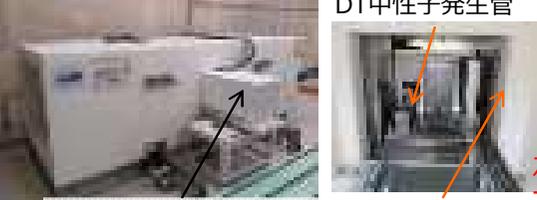
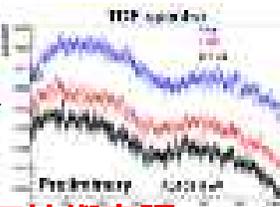
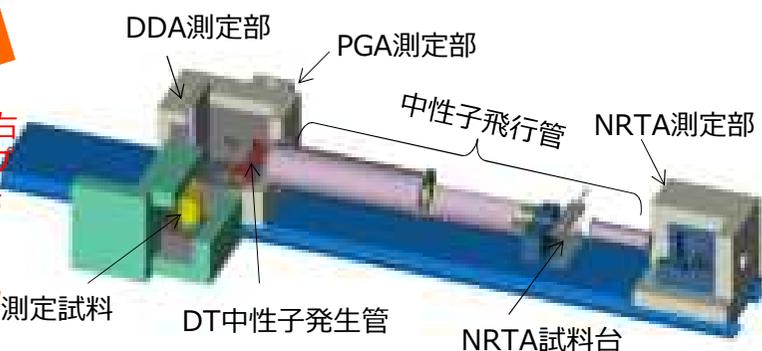
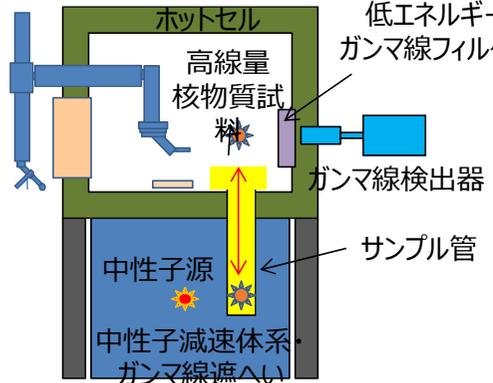
終了プログラムの分類説明 (1/3) (タイプ1 及びタイプ2)

各プログラムでは、実用装置モデルの設計・製作に必要となる**コア技術実証**あるいは**性能実証**を行うことにより、実用装置の設計の基盤を確立させた。

プログラム・実施時期	研究開発の実施範囲	成果が展開される実用装置 (提案装置)
<p>【タイプ1】 レーザ・コンプトン散乱ガンマ線非破壊測定技術開発 (H23-H26年度) (ガンマ線源部開発)</p>	<p>レーザ・コンプトン散乱基礎実証装置 (KEK)</p>  <p>(ガンマ線源部)</p> <p>ガンマ線源部実証 (コア技術実証)</p>	<p>必要面積 450 m²:</p>  <p>左を基に右実用装置開発が可能</p> <p>コンテナ内に隠された核物質の検知装置等の製作が可能</p>
<p>【タイプ1】 溶融燃料中核物質測定技術開発 (中性子共鳴濃度分析法の開発) (H24-H26年度)</p>	<p>NRD測定系実証システム開発・実証 (GELINA)</p>  <p>測定系実証 (コア技術実証)</p>	<p>必要面積 200 m²:</p>  <p>左を基に右実用装置開発が可能</p> <p>福島第一の粒子状溶融燃料中の核物質の測定等が可能</p>
<p>【タイプ2】 He-3代替検出器開発 (H23-H26年度)</p>	<p>開発したプロトタイプ装置 ASAS (Alternative Sample Assay System)</p>  <p>検出器部 データ収集系</p> <p>NDA装置性能実証 (プロトタイプ装置) 性能実証)</p>	<p>左のプロトタイプ装置を基に、様々な実用装置の開発が可能 (IAEAの保障措置活動に必要な実用パッシブNDA装置の製作が可能)</p>

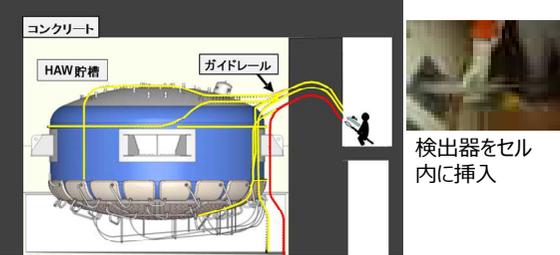
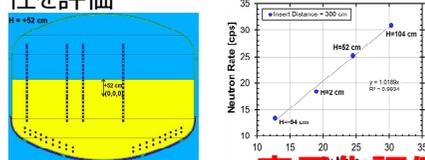
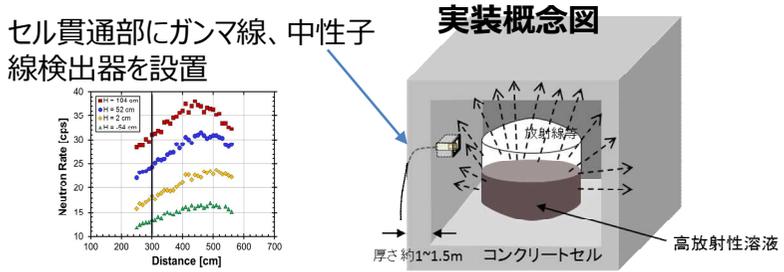
終了プログラムの分類説明 (2/3) (タイプ1 及びタイプ2)

このプログラムは、世界初の技術開発で時間を要するため、第一段階では**コア技術実証**を行い、次にプロトタイプ装置の**性能実証**を行うという2段階で開発を進めている。

プログラム・実施時期	研究開発の実施範囲	成果が展開される実用装置 (提案装置) アクティブ中性子非破壊測定技術開発 (Ⅱ)
<p>【タイプ1】 アクティブ中性子非破壊測定技術開発 (Ⅰ) (H27-H29年度) (基礎実証)</p>	<p>DDA・PGA試験 (@NUCEF) DT中性子発生管</p>  <p>PGA用ガンマ線検出器 He-3検出器バンク</p> <p>DDA・PGAコア技術実証</p> <p>TOFスペクトル中性子パルス幅依存性 (京大炉)</p>  <p>銀1%(Pu模擬) 混入アルミ合金試料を用いて中性子パルス幅(0.1, 1, 4 us)がTOFスペクトルに与える影響を試験、評価</p> <p>NRTAコア技術実証</p>	<p>DDA・PGA・NRTA統合試験装置 (@NUCEF)</p>  <p>左を基に右プロトタイプ装置開発が可能</p> <p>測定試料 DT中性子発生管 NRTA試料台</p> <p>港湾あるいはそれ以外の場所で発見された核テロが疑われる物体中の核物質や保障措置サンプル等の核物質の組成や分量を短時間で正確に測定することが可能</p> <p>実装型遅発ガンマ線分光 (DGS)非破壊測定システム</p>
	<p>遅発ガンマ線分光 (DGS) 実験装置</p>  <p>中性子減速体 ガンマ線検出器</p> <p>中性子源移動装置 (シャトル&支持台車) 検出器系支持台車</p> <p>DDS技術の基礎実証</p> <p>NDA装置コア技術実証</p>	 <p>左を基に右プロトタイプ装置開発が可能</p> <p>ホットセル 高線量核物質試料 低エネルギーガンマ線フィルター ガンマ線検出器</p> <p>中性子源 中性子減速体系 ガンマ線遮へい サンプル管</p> <p>再処理施設における高線量保障措置サンプル中の核分裂性物質組成比を短時間で正確に測定することが可能</p>

終了プログラムの分類説明 (3/3) (タイプ3)

各プログラムでは、既存装置あるいは新規試験装置により、**プロトタイプ装置の実用化の可能性**を評価する技術開発を行い、必要な情報を得た。

プログラム・実施時期	研究開発の実施範囲	成果が展開される実用装置 (提案装置)
<p>【タイプ3】 使用済み燃料集合体Pu-NDA技術実証試験 (H23年度-H25年度)</p>	<p>米国ロスアラモス国立研究所製作のPu-NDA装置の使用済み燃料プール内への設置、使用済み燃料集合体の測定を実施</p>  <p>実用化評価試験</p>	<p>使用済み燃料中のプルトニウム量を非破壊で測定する技術の実用化を考えた場合の課題、改良点について知見が得られた。</p> <p>米国DOEは、このプログラム終了後のスウェーデンのCLAB (使用済み燃料中間保管施設) で行う使用済み燃料測定試験 (~2017年) 等結果を基に、実用装置の可能性を検討</p> <p>⇒ この実用装置により使用済み燃料中の核物質の非破壊での定量検認が可能</p>
<p>【タイプ3】 先進プルトニウムモニタリング技術開発 (H27年度-H29年度)</p>	<p>HALW貯槽セル内の線量分布、ガンマ線スペクトル、中性子線を測定</p>  <p>検出器をセル内に挿入</p> <p>シミュレーションによりPuモニタリング機能、定量性を評価</p>  <p>実用化評価試験</p>	<ul style="list-style-type: none"> セル内ガンマ線及び中性子線を用いて、高放射性溶液のモニタリング機能性を確認 シミュレーションモデルによるベンチマーク計算によって、ガンマ線検出器によりEu/Pu、中性子検出器によりCm/Pu比からPu定量化の可能性が示唆 <p>⇒ この知見を基に再処理工場での高放射溶液中Puの即時的なモニタリング (増加、減少の把握が可能) システムが可能</p> <p>セル貫通部にガンマ線、中性子線検出器を設置</p>  <p>実装概念図</p> <p>厚さ約1~1.5m コンクリートセル 高放射性溶液</p>