



画期的なアプローチによる放射線計測 研究開発戦略（中間報告版）

平成29年8月10日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
廃炉国際共同研究センター（JAEA/CLADS）



目次



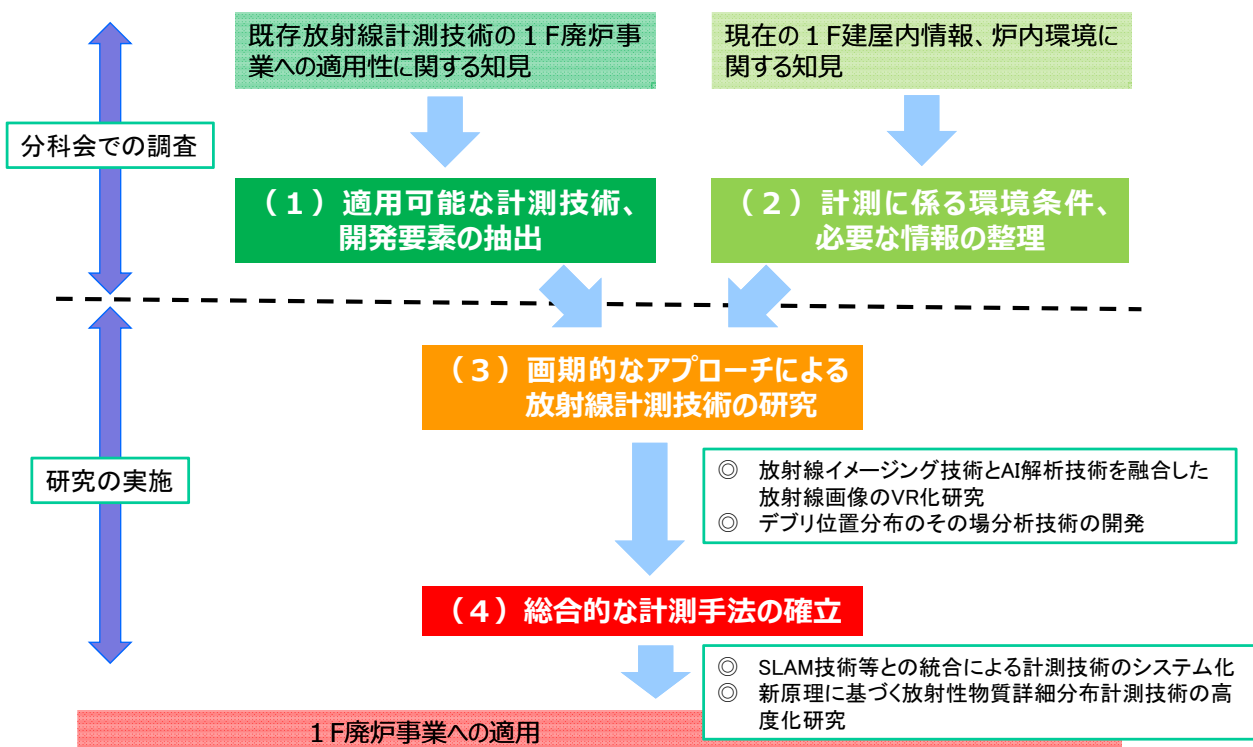
- ① 当該研究開発課題に係る国内外の動向
- ② 1F廃炉事業への適用を念頭に置いた具体的な中核的研究テーマの構成及びそのアプローチ方法（研究のスコープ）
- ③ 拠点型の研究実施体制
- ④ 必要な研究施設・設備
- ⑤ コア人材の設定及び研究を通じた若手人材育成のための計画
- ⑥ 中長期ロードマップ及び技術戦略プランとニーズから逆算される実施時期と達成目標
- ⑦ 研究評価の視点・考え方

● 調査結果

- PCV内部のような超高線量場での放射線計測技術に関する研究開発はほとんどなく、知見としては非常に限られている。
- 大学、研究所は手持ちの技術から研究を行うことから、既存の技術の適用、改良になりがちである。
- 現場ニーズを想定し「今後必要となるであろう」研究をやるべきである。
- センサーから信号伝送系まで耐放射線性を考慮する必要があり、関連技術との連携も有用である。
- 炉内だけでなく、建屋内の高線量率場での線源分布をイメージングすることも重要である。また、線量分布から線源位置を把握するソフト的アプローチも重要である。
- キャリア、伝送、耐放性などのほかの要素も抑えておき、PCVにも投入できるよう遅れがないように準備することが重要である。これらは、英知事業だけでは全部できないため他の資金も検討する。
- という意見が出され、現在の研究の動向から今後適用されるテーマとして以下の課題が提示された。

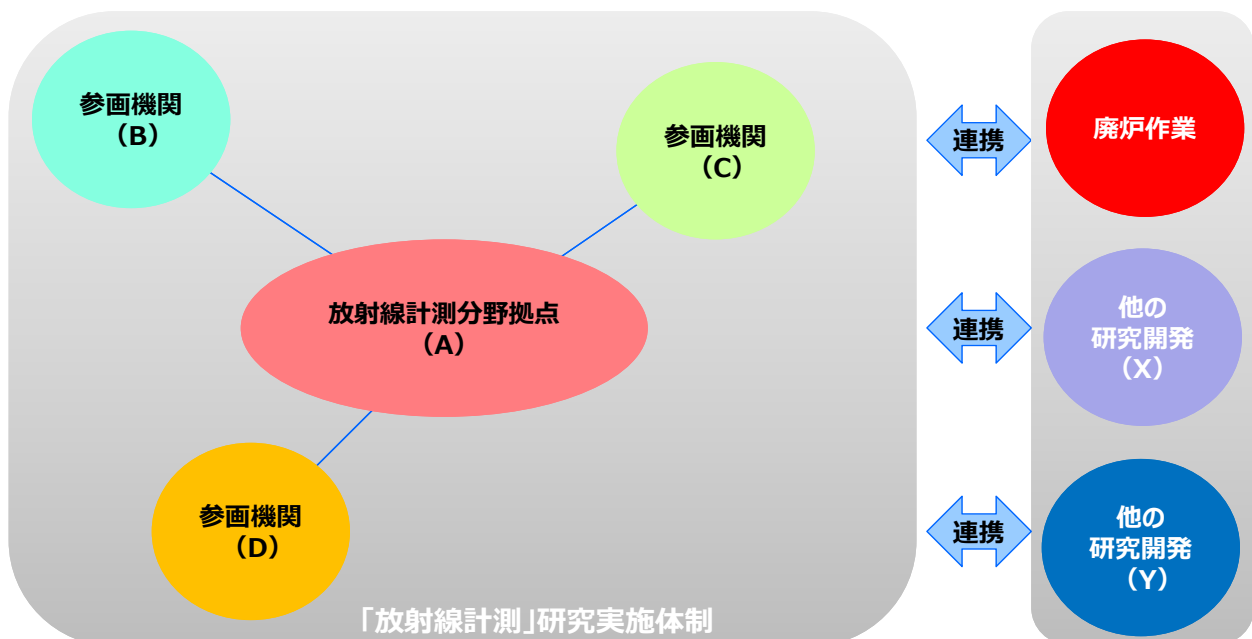
ニーズ	内容	シーズ(研究テーマ)	日程
燃料デブリ位置の詳細な分布を調査する	高BG環境において燃料デブリが放出する放射線を測定する。	超低検出効率指向性パルス動作型検出器 エネルギー応答の異なる複数の検出器を用いるアンフォールディング 高エネルギーγ線スペクトルイメージャー 高速中性子イメージャー	
高汚染エリアの把握により作業員の被ばく低減を図る	建屋内の高線量率エリアにおいて詳細な汚染分布を測定し、放射性物質のイメージング技術を確立する。	化合物半導体による小型スペクトルイメージャー 3D画像再構成によるガンマ線イメージング 任意形状可能な有機半導体検出器	
その他 (高汚染エリアでの作業管理・計測機器の耐久性)	円滑な廃炉作業を進めるために建屋内のα核種汚染分布を把握するとともに、耐放射線性デバイスを開発する。	α核種の広域可視化技術 耐放射線小型カメラ・半導体デバイス	

● 中核的研究テーマの構成



● 中核的研究テーマのアプローチ方法

- (1) 適用可能な計測技術、開発要素の抽出 (H29年度分科会での整理)
 - ・ これまで研究開発されている計測技術から主要な計測技術を分科会、必要に応じて関係者等への調査により抽出し、燃料デブリの取り出しや1F建屋内の効率的な除染や作業員の被ばく低減を図るために必要な放射線計測技術の研究開発要素を明らかにする。
- (2) 計測に係る環境条件、必要な情報の整理 (各開発の最初の段階で整理)
 - ・ 1F建屋内、燃料デブリの環境条件、放射線状況を想定し、対象物を明らかにするために計測上必要となる情報を分科会において整理する。
- (3) 画期的なアプローチによる放射線計測技術の研究
 - ・ 建屋内高線量率環境における放射線源3Dイメージを取得するための「**放射線イメージのVR化研究**」と燃料デブリ取り出しに向けた「**その場分析技術研究**」の2段構成で行う。
 - ・ 「**放射線イメージのVR化研究**」では、放射線計測技術とAIを用いた空間幾何解析技術、放射線画像再構成技術を融合し、放射性物質分布のモンテカルロ解析を行うことにより建屋内3D放射線コンター図を作成し、放射線環境のVR(Virtual Reality)化を図る。これにより、効率的な除染方法や作業員の被ばく低減手法選定の支援技術を確立する。そのため必要となる**小型化合物半導体によるスペクトルイメージャー**の開発、及び**放射線・実空間の画像再構成解析技術**を確立する。
 - ・ 「**その場分析技術研究**」では、デブリ取り出しに向けてPCV内の高γ線環境下において上記**小型化合物半導体を用いた高指向性放射線計測技術**、及び**中性子イメージング**について研究を行う。さらに、これらの計測機器の**耐放射線性を向上させ長時間計測可能な計測素子の開発研究**を行う。
- (4) 総合的な計測手法の確立
 - ・ 遠隔機器に搭載可能な**位置認識技術(SLAM技術)**等との融合により**総合的な計測技術**のシステム化を図る。
 - ・ **新原理に基づく計測技術の開発研究を進める。**



- ・ 長年にわたる1F廃炉事業を支えるべく、コア人材ないしコア研究を中心とする拠点が形成され、長期的に事業に携わっていくことのできる体制構築を志向する。
- ・ 廃炉作業や他の研究開発と積極的に連携・協力する。

● 研究施設・設備に関する議論

- 本研究開発では、センサーの開発・製作、データの読み出し技術、データ伝送技術が必要である。
- 高線量環境での試験を模擬するため、耐放射線性試験も含めた放射線照射設備が必要となる。
- 遠隔技術（ロボット、ドローン）による試験評価が必要である。
- センサー等については、保有する設備等を考慮の上、品質が担保できるように努める。場合により、特定の施設で作製後、研究実施機関へ配布等行うことも検討する。

● コア人材の設定

- 実施各機関においては、中長期的に必要な人材（コア人材）を設定し、コア人材を中心とした研究開発を検討する。

● 若手人材育成のための計画

- 中長期的に必要な人材を育成する観点から、大学・研究機関等との継続的な共同研究を実施する等、長期的な連携の強化に努める。
- 廃炉基盤研究プラットフォームの諸活動、福島リサーチカンファレンス（FRC）等の場を活用する。

● 中長期ロードマップ等から逆算される実施時期

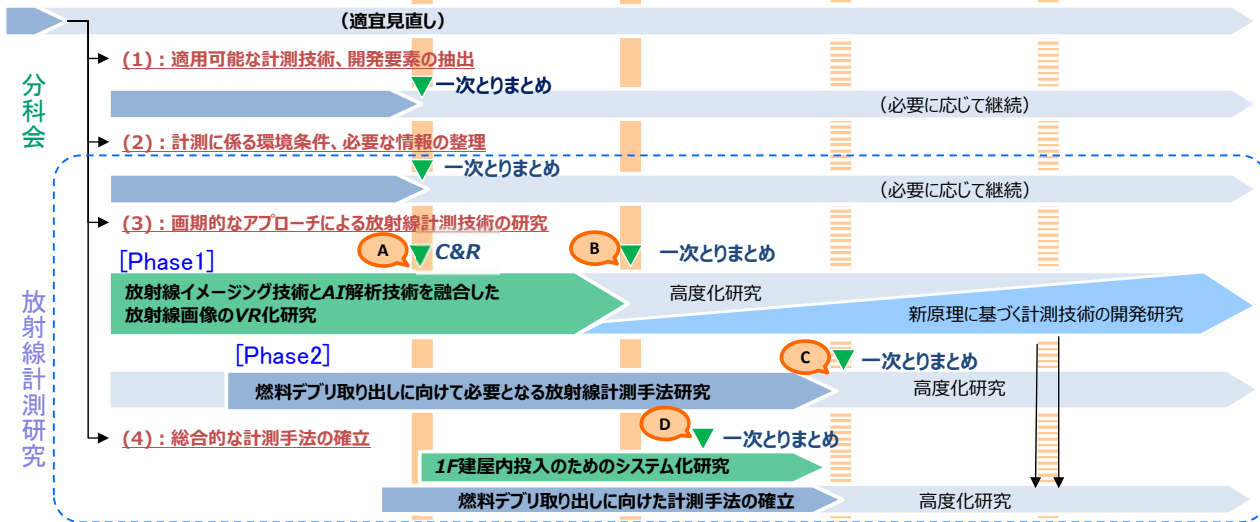
2017年度	2018年度	2019年度	2020年度以降
--------	--------	--------	----------

<中長期ロードマップ等>



<画期的なアプローチによる放射線計測技術の研究>

研究開発戦略の策定 (ニーズの体系的整理/シーズの探索/研究対象・パラメータ整理/etc...) ※ 中長期ロードマップ、技術戦略プラン等が変更になる場合はその都度見直す。



● 達成目標

A : 「画期的なアプローチによる放射線計測手法」の提示 (2018年度末)

- 研究開発動向等を踏まえた知見をベースに2018年度末までの成果を加えた「基本的な考え方」を提示。
 - 放射線イメージング技術とAI解析技術を融合した放射線画像のVR化研究 [Phase1]
 - 化合物半導体を用いた小型センサーアレイを製作し、放射線源の面的な分布計測を行う。
 - 放射線源分布画像の3D再構成技術を開発し、線源分布のイメージングを行う。
 - AI技術を用いた幾何構造等の3Dモデル化とモンテカルロ計算による放射線分布の解析統合化研究を行い、3D放射線コンター図作成技術を開発する。
 - 燃料デブリ取り出し時に必要となる計測技術の研究 (その場分析技術研究) [Phase2]
 - デブリ位置分布の“その場”分析技術：上記の化合物半導体を用いて高BG環境下における高指向性放射線計測器、及び中性子イメージャーの開発に着手する。
 - 高耐放射線半導体デバイスの開発研究に着手し、開発計画を取りまとめる。

B : R&D成果の一次とりまとめ結果 (2019年度末)

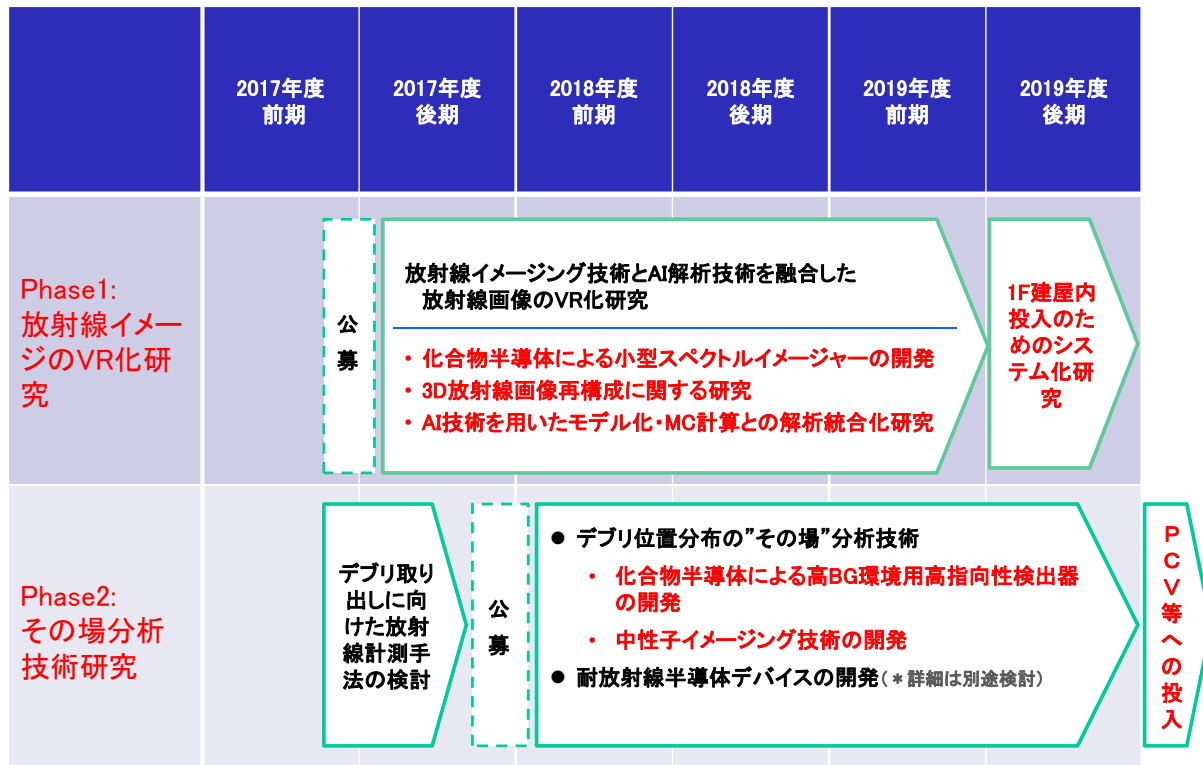
- 小型ガンマ線スペクトルイメージャーを1F建屋内での測定に適用し、課題を抽出する。
- 建屋内の3D放射線画像再構成技術の実証試験を行い、課題を抽出する。
- 2019年までの研究成果のとりまとめを行う。

C : 燃料デブリ取り出しに向けた計測手法の評価 (2020年度末)

- 実用可能な計測技術を提示する。

D : 1Fへの投入、測定、解析評価の実施 (暫定的評価)

- 1Fでの測定データ等を用いて評価結果を検証し、より詳細な検証、高度化に必要なデータを提示する。



● 評価の視点

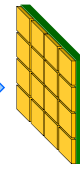
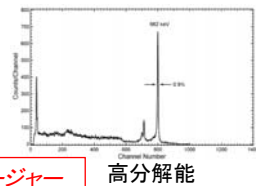
- 各年度ごとに得られた研究成果を分科会等でレビューし、事業全体の整合性なども含めた研究開発の品質をチェックする。(C&R)
- 必要に応じて、C&Rの結果を研究開発戦略へ反映し見直す。
- 研究開発の実施者からも積極的に研究開発戦略への反映点を提案させるとともに、廃炉作業等に貢献できる知見をわかりやすく整理し、論文化や学会発表等の成果の発信に努める。
- 中長期的な成果を見越したアプローチを考慮し、廃炉作業の各ステージで貢献できる基礎基盤的な研究成果の発信を行う。

● 考え方

- 現象の理解の深化の各段階で、廃炉プロジェクト側と情報交換し、研究成果をデブリ取出し戦略、工法の開発・策定、廃炉作業の円滑な進展に反映させることに努める。
- 成果については第三者の学術的なピアレビューを受け、公表することに努める。

➤ 化合物半導体による小型スペクトルイメージャーの開発

- 超高感度(高原子番号・高密度)
- 高エネルギー分解能
- 高耐放射線性
- 低中性子吸収断面積
- 室温動作可能

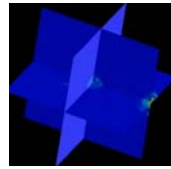


アレイ化
⇒イメージャー

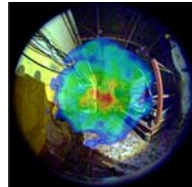
遠隔機器への搭載

国産技術による新規性が高いセンサー⇒小型イメージャー

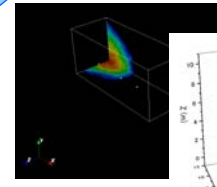
➤ 3D放射線画像再構成に関する研究



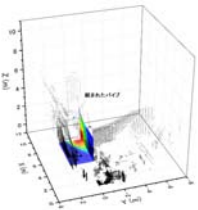
画像再構成技術



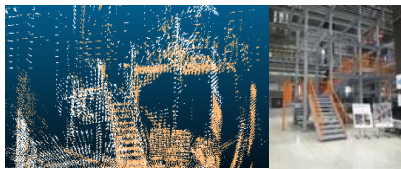
2D画像



3D画像



➤ AI技術を用いたモデル化・MC計算との解析統合化研究



測域センサーによるデータ取得
⇒高精細化システムの製作

AI技術

深層学習により幾何構造・材質等の把握⇒MC計算のインプット情報の作成

モンテカルロ計算



3Dコンター図の作成

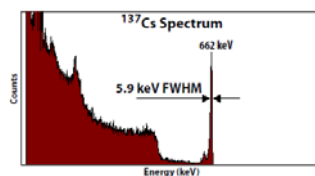
- 除染・機器撤去のシミュレーション
- 作業員の被ばく低減支援

【新規性】

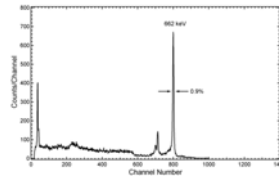
- (これまで) 実用化されている化合物半導体はCdTe, CdZnTeのみ
- 高純度TlBr結晶を育成することにより高分解能化を実現
- 小型から大型(1インチ)までTlBr結晶まで育成可能
- Tl電極により室温安定動作を実現
- 純国産(安定供給)

【小型高感度】

- Geの21倍の光電吸収
- 100 mmと極薄でも動作
- ピーク対コンプトン比が良好
- 高ガンマ線バックグラウンド下でも核種同定可能



3 x 3 x 1 mm CdTe with RTD at -30°C



2 x 2 x 4.5 mm TlBr at -20°C

【耐放射線性】

- 吸収線量45 kGy(60Coガンマ線)でも劣化なし(CdTeは12 kGyでも劣化)
- 中性子吸収断面積が小さい(Cd: 2520 barn, Tl: 3.43 barn)

➡ PCV内計測にも適用可

